



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Modelación de la producción y atracción de viajes de carga para grandes generadores de mercancías en áreas urbanas**

**Autor:**

Francisco Javier Mafla-Hernández, I.C. Esp. Vías y Transporte

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín  
Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería Civil  
Medellín, Colombia

2020



# **Modelación de la producción y atracción de viajes de carga para grandes generadores de mercancías en áreas urbanas**

**Autor:**

Francisco Javier Mafla-Hernández, I.C. Esp. Vías y Transporte

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
Magister en Ingeniería – Infraestructura y Sistemas de Transporte

**Director:**

Carlos Alberto González-Calderón, Ph.D.

**Codirector:**

John Jairo Posada Henao, Ph.D.

**Línea de Investigación:**

Transporte de Carga

**Grupo de Investigación:**

Grupo de Investigación en Vías y Transporte - VITRA

**Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín**

Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería Civil

Medellín, Colombia

2020



## DEDICATORIA

A mi madre que me leía Cien Años de Soledad  
A mi familia que sembró en ella la oportunidad de hacerlo

A mi hijo que es oda y número  
A las tierras de Buesaco y Ancuya  
al sur y su libertad.

Voy rumbo a mi Ítaca.

# AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis agradecimientos a:

## **Profesores**

Carlos Alberto González-Calderón: por el acompañamiento, motivación y gestión para alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación junto a la formación integral del  
tesista.

John Jairo Posada-Henao: por su revisión y crítica constructiva en el proceso.

Iván Sarmiento-Ordosgoitia: quien me abrió las puertas en el área de la ingeniería de  
transporte.

## **Amistades**

Ing. MSc Daniela Sofia Jurado: por compartir su entusiasmo e inquietudes sobre la  
ingeniería de transporte en todo este tiempo.

Compañeros a lo largo del posgrado: por compartir su conocimiento y amistad.

## **Instituciones y grupos académicos**

Universidad Nacional de Colombia, quien en sus libros y aulas me ha cobijado.

VITRA, por hacerme parte de su red de conocimiento y proyectos.

Empresa de desarrollo Urbano EDU y Secretaria de Movilidad de Medellín, por brindarme  
el tiempo y espacios para culminar la tesis.

## **Empresas**

Planificación, Modelación y Transporte S.A.S, cualquier objetivo del ser humano debe ser  
acorde a un sueño en la vida.

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>20</b>
1.1 OBJETIVOS.....	22
1.1.1 Objetivo General.....	22
1.1.2 Objetivos Específicos.....	22
1.2 HIPÓTESIS.....	22
<b>2. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>23</b>
<b>3. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VIAJES EN GRANDES GENERADORES DE MERCANCÍAS.....</b>	<b>29</b>
3.1 Identificación del área de estudio .....	29
3.2 Identificación de los centros generadores de viajes de mercancías .....	30
3.3 Identificación de la muestra de estudio.....	31
3.4 Invitación a grandes generadores a participar en el estudio de viajes de mercancía en grandes generadores .....	32
3.5 Elaboración de encuesta y prueba piloto para entrevista con grandes generadores .....	32
3.6 Entrevista con actores involucrados en los viajes de los grandes generadores de mercancías.....	33
3.7 Agrupación por grupos de grandes generadores de viajes.....	34
3.8 Encuestas y base de datos generada.....	37
3.9 Naturaleza de los datos y análisis del problema.....	38
3.10 Modelos de viajes para grandes generadores urbanos de mercancías .....	39
3.10.1 Función de regresión muestral o análisis de regresión basado en la teoría econométrica.....	40
3.10.1.1 Concepto de función de regresión poblacional .....	40
3.10.1.2 Método de mínimos cuadrados ordinarios .....	41
3.10.1.3 Modelos no lineales .....	42
3.10.1.4 Corrección por sesgo de modelos no lineales.....	43
3.10.2 Procesos de agregación .....	45
3.10.3 Agregación de datos a nivel de establecimiento .....	45
3.10.4 Modelos cuando solo la agregación de datos es posible .....	46
3.10.4.1 Modelos constantes.....	46
3.10.4.2 Modelos de tasa empleo.....	47
3.11 Análisis de resultados .....	47
<b>4. CASO DE ESTUDIO: ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. ....</b>	<b>49</b>
4.1 Descripción del área de estudio .....	49
4.2 Identificación de los centros generadores de viajes de mercancías .....	51
4.3 Convocatoria para la participación de los grandes generadores.....	59
4.4 Entrevista a los actores involucrados .....	60
4.5 Identificación de la muestra de estudio.....	61
4.6 Agrupación de grandes generadores por unidades de estudio.....	65
4.7 Base de datos del estudio .....	66
4.8 Naturaleza de los datos y análisis de los datos encontrados.....	69
4.9 Aplicación de la modelación de producción y atracción de viajes de mercancías para grandes generadores urbanos .....	80
4.9.1 Grandes hoteles .....	81
4.9.2 Grandes centros comerciales .....	88
4.9.3 Grandes empresas .....	97
4.9.4 Grandes hospitales.....	103
4.9.5 Grandes universidades.....	111

## 8 Modelación de la atracción y producción de viajes de carga para grandes generadores de mercancías en áreas urbanas

---

4.9.6	Grandes edificios .....	118
4.9.7	Grandes plazas de mercado .....	124
4.9.8	Aplicación a un caso de estudio.....	133
<b>5.</b>	<b>BUENAS PRÁCTICAS APLICADAS A GRANDES GENERADORES DE VIAJES DE MERCANCÍAS .....</b>	<b>136</b>
5.1	Horarios de cargue y descargue nocturno .....	136
5.2	Centros de distribución de grandes generadores en las ciudades .....	137
5.3	Bodegas de confianza en los grandes generadores de viajes de mercancías .....	139
5.4	Consolidación de viajes de grandes generadores de viajes de mercancías ...	139
5.5	Gestores de mercancías para grandes generadores.....	139
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>141</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>144</b>
7.1	ANEXO A: Presentación de poster en TRB (Transportation research board) .	144
7.2	ANEXO B: Presentación de poster en VREF ( <i>Conference on Urban Freight 2018</i> )	145
7.3	ANEXO C: Cuadro de revisión bibliográfica.....	146
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>154</b>

## Lista de figuras

Figura 1. Cadena de generación de viajes .....	20
Figura 2. Modelo de cuatro etapas para personas (izquierda) y para mercancías (derecha) .....	24
Figura 3. Modelo clásico de camiones urbanos .....	24
Figura 4. Estructura de micro simulación de toures basados en movimientos en áreas urbanas .....	25
Figura 5. Modelos basados en mercancías (izquierda) y viajes en el transporte de carga (derecha).....	25
Figura 6. Función de regresión muestral y función de regresión muestral estimada .....	41
Figura 7. Método de mínimos cuadrados ordinarios .....	42
Figura 8 Intervalo de confianza para 95% .....	48
Figura 9. Área de estudio de la investigación. ....	50
Figura 10 Agrupación de las zonas de Colombia en el estudio de transporte de carga del Área Metropolitana 2018 .....	54
Figura 11 Agrupación de las zonas de Antioquia en el estudio de transporte de carga del Área Metropolitana 2018 .....	55
Figura 12. Grandes generadores identificados en el piloto (Fase 1) .....	57
Figura 13. Grandes generadores identificados en el piloto (Fase 2) .....	58
Figura 14. Página web del estudio de transporte de carga en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.....	60
Figura 15. Concentración de grandes generadores localizados espacialmente en el Municipio de Medellín.....	63
Figura 16. Grandes generadores identificados y evaluados en la muestra .....	64
Figura 17 Ejemplo de localización de conteos vehiculares en un gran generador de viajes .....	69
Figura 18. Kilogramos por viaje por tipo de vehículo en un día para grandes generadores .....	71
Figura 19. Kilogramos por viaje en un día típico por tipo de vehículo para plazas de mercado .....	74
Figura 20. Viajes día por tipo de vehículo para central mayorista y minorista sin expansión .....	75
Figura 21. Viajes día por tipo de vehículo para los grandes generadores sin expansión	77
Figura 22. Atracción y producción de viajes/día en las distintas zonas de estudio.....	79
Figura 23. Ejemplo de Hoteles referentes como grandes generadores de viajes de carga <i>Hotel intercontinental</i> y <i>Hotel Four Points</i> .....	81
Figura 24. Viajes atraídos de vehículos de mercancía a lo largo del día en hoteles estudiados.....	82
Figura 25. Composición vehicular de vehículos de mercancías atraídos en tres hoteles del Área Metropolitana del Valle de Aburrá .....	83
Figura 26. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes hoteles con base en Modelo lineal y el modelo In-In .....	86

Figura 27. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable habitaciones.....	88
Figura 28. Ejemplo de centros comerciales referentes como grandes generadores de viajes de carga <i>Viva Envigado y Monterrey</i> .....	90
Figura 29. Viajes atraídos de vehículos de mercancía a lo largo del día en centros comerciales estudiados.....	91
Figura 30. Composición vehicular de vehículos de mercancías atraídos en centros comerciales estudiados del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.....	92
Figura 31. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes centros comerciales con base en Modelo lineal y el modelo ln-ln .....	95
Figura 32. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable establecimientos .....	97
Figura 33. Ejemplo de empresas referentes como grandes generadores de viajes de carga Contegral y Colanta.....	98
Figura 34. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes empresas con base en Modelo lineal y el modelo ln-ln .....	101
Figura 35. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable carga en kg .....	103
Figura 36. Ejemplo de hospital referente como gran generador de viajes de carga, <i>Hospital Pablo Tobón Uribe</i> .....	104
Figura 37. Viajes atraídos de vehículos de mercancía a lo largo del día en hospitales estudiados.....	105
Figura 38. Composición vehicular de vehículos de mercancías atraídos en cinco grandes hospitales del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.....	106
Figura 39. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes hoteles con base en modelo lineal y el modelo ln-ln .....	109
Figura 40. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable camas .....	111
Figura 41. Ejemplo de Universidades referentes como grandes generadores de viajes de carga <i>Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y Universidad de Antioquia</i> ..	112
Figura 42. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes universidades con base en Modelo lineal y el modelo ln-ln .....	116
Figura 43. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable estudiante .....	118
Figura 44. Ejemplo de grandes edificios referentes como grandes generadores de viajes de carga edificio EPM y Coltejer.....	119
Figura 45. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes edificios con base en Modelo lineal y el modelo ln-ln .....	122
Figura 46. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados utilizando la variable empleo .....	124
Figura 47. Ejemplo de plazas de mercado referentes como grandes generadores de viajes de carga Central Mayorista de Antioquía y Plaza Minorista de Medellín.....	125
Figura 48. Modelo lineal-ln de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable carga en kg .....	128

---

Figura 49 Uso de modelos de viajes de carga para centros comerciales.....	134
Figura 50. Restricción de vehículos de carga en zona generadora de mercancía. ....	137
Figura 51. Centro de distribución de un conjunto de minimercados en Medellín.....	138
Figura 52. Distribución de viajes de dos centros de distribución. Abastecimiento según ruma más corta. ....	138
Figura 53. Relación entre agentes de transporte de mercancías en grandes generadores .....	140

## Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación industrial internacional uniforme	35
Tabla 2. Clasificación estándar de mercancías SCTG	36
Tabla 3. Agrupación de grandes generadores en áreas urbanas	36
Tabla 4. Depuración de la identificación de centros generadores de viajes de mercancías	52
Tabla 5. Clasificación industrial internacional uniforme y cantidad de generadores de viajes identificados en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	53
Tabla 6. División de la muestra estadística.	65
Tabla 7 Variables encontradas en la base de datos de GG	67
Tabla 8 Variables encontradas en la base de datos de BD_ plazas	68
Tabla 9. Estadísticos descriptivos de la variación de viajes y carga de los grandes generadores sin expansión	70
Tabla 10. Viajes y carga (Kg) por tipo de CIU para grandes generadores	72
Tabla 11. Estadísticos descriptivos de la base de datos de plazas de mercado no expandidos	73
Tabla 12. Viajes y carga (Kg) por tipo de CIU para plazas de mercado	76
Tabla 13. Descripción estadística por tipo de establecimiento considerado en el estudio de transporte de carga	78
Tabla 14 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en hoteles	84
Tabla 15 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para hoteles	85
Tabla 16 Centros comerciales incluidos en la investigación	89
Tabla 17 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en centros comerciales	93
Tabla 18 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para centros comerciales	94
Tabla 19 Modelos lineales y no lineales de producción de viajes de carga en grandes empresas	99
Tabla 20 Mejor modelo lineal y no lineal de producción de viajes de carga seleccionados para grandes empresas	100
Tabla 21 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en Hospitales	107
Tabla 22 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para hospitales	108
Tabla 23 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en universidades	114
Tabla 24 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para universidades	115
Tabla 25 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en hoteles	120
Tabla 26 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para edificios	121

---

Tabla 27 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en plazas de mercado	126
Tabla 28 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para grandes plazas de mercado	127
Tabla 29 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga para la Plaza Minorista de Medellín	129
Tabla 30 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para Plaza Minorista de Medellín	130
Tabla 31 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en Plaza Mayorista	131
Tabla 32 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para Plaza Mayorista	132
Tabla 33 Caso de aplicación para un centro comercial.	134
Tabla 34 Cantidad de viajes días esperados para el caso de aplicación	135

## Glosario

**Transporte de carga:** se refiere a el movimiento de mercancías de un lugar a otro (NCFRP 2011)

**Carga:** cosa transportada a hombros, a lomo o en cualquier vehículo (Real Academia Española 2001).

**Modo de transporte:** forma en la que se desplazan bienes, cosas o personas (Rodrigue 2020)

**Viaje:** representación de un desplazamiento en una sola dirección de un punto de origen a un punto destino (McLeod and Hanks 1986)

**Generación de viajes de carga:** se refiere a al número de viajes de carga que genera un establecimiento o zona (José Holguín-Veras et al. 2016) .

**Atracción de viajes de carga:** se refiere al número de viajes de carga que llegan a un establecimiento o zona (José Holguín-Veras et al. 2016).

**Producción de viajes de carga:** se refiere al número de viajes de carga que produce un establecimiento o zona (José Holguín-Veras et al. 2016).

**Grandes generadores de carga urbanos:** hace referencia a establecimientos localizados dentro de zonas urbanas, clasificados en una actividad económica, que envían o reciben gran cantidad de mercancías (toneladas) necesarias para su funcionamiento.

**Grandes generadores de viajes de carga urbanos:** se refiere a los establecimientos dentro zonas urbanas clasificados en una actividad económica, que envían o reciben gran cantidad de viajes de mercancías necesarias para su funcionamiento.

**CIIU:** Clasificación Internacional Industrial Uniforme de actividades económicas, hace referencia a las actividades productivas o simplemente clasificación de actividad económica (Departamento adminsitrativo nacional de Estadística 2012).

**SCTG:** clasificación estándar de mercancías transportadas (U.S. Department of transportation 2012)

**Modelos:** representación simplificada de una realidad (Ortuzar and Willumsen 2008).

**TAZ:** Zonas de análisis de transporte, por sus siglas en inglés (Ortuzar and Willumsen 2008)

**FSA:** Actividad de carga y servicio de carga, por sus siglas en inglés Freight and Service Activity. (José Holguín-Veras et al. 2016)

**NCFRP:** Programa nacional de investigación cooperativa de carga, por sus siglas en inglés. *National Cooperative Freight Research Program* (José Holguín-Veras et al. 2016)

## RESUMEN

Día a día en las ciudades se procesan, intercambian y consumen productos, todos ellos siguen una cadena de suministro iniciada, en general, en un lugar distinto al de su consumo final. Debido a esto, se generan una serie de viajes para transportar los productos desde su origen hasta el consumidor final. En gran parte de estas cadenas de suministros se emplean lugares que por sus características de operación exigen un gran movimiento de viajes de mercancías, estos lugares son referidos en la literatura como Grandes Generadores de Viajes de Carga LFTG (por sus siglas en inglés *Large Freight Traffic Generators*); ejemplos de estos grandes generadores de viajes de carga son algunas grandes fábricas, hospitales, plazas de mercado, hoteles, entre otros. Los LFTG urbanos pueden entenderse entonces como lugares en los que se congrega (origen o destino) un gran número de viajes de carga en un área urbana (más de 20 viajes de carga al día).

Esta investigación estima los viajes de carga generados por los LFTG urbanos. Para llevarla a cabo, el autor analiza variables que explican la producción y la atracción de los viajes de carga generados por los LFTG utilizando técnicas de regresión lineal y no lineal, la investigación tiene un enfoque cuantitativo, que busca comprender las variables asociadas con la generación de viajes por diferentes tipos de LFTG a través de los datos, variables estadísticamente significativas y conceptualmente válidas (e.g., empleo, áreas de establecimiento, número de habitaciones en hoteles, locales comerciales). Para esto se utiliza información primaria y secundaria obtenida en el Estudio de Transporte de Carga 2018 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia y desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Los resultados de este estudio mostraron que todos los modelos escogidos como los mejores para explicar el fenómeno de generación de viajes poseen variables significativas, por lo tanto, se puede afirmar que cambios en dichas variables independientes afectan la variable explicada.

Este estudio proporciona una herramienta para el desarrollo de políticas de movilidad en áreas urbanas e iniciativas de transporte de carga (e.g., administración de infraestructura,

administración de tráfico) que tienen por objeto reducir las externalidades negativas del transporte asociado con LFTG como la congestión y el ruido.

**Palabras Clave:**

Grandes generadores de carga, generación de viajes de carga, transporte de carga, modelación de transporte

## **Title: Freight trip production and attraction for large urban generators**

### **Abstract**

Every day, goods in cities are being processed, exchanged and consumed. Generally, all of these product's supply chain begins in a different place from where they are finally consumed. So, a series of trips are generated to transport all of these goods from its origin to its destination. Most of these supply chains, use places with such operational characteristics as great movement of commodity trips, which are known in the literature as Large Freight Traffic Generators (LFTG); some examples could be large factories, hospitals, market places, hotels and many others. Urban LFTG can be understood as places where a large number of trips (more than 20 freight trips per day) in both origin and destination are gathered in an urban zone.

This investigation focuses on estimate freight trips generated by urban LFTG. In order, to carry it out, the author analyzes variables that explain both production and attraction of freight trips generated by LFTG using linear and non-linear regression techniques, the present investigation has a quantitative approach that looks forward to understand variables associated with the trip generation caused by different types of LFTG based on the data, statistically significant and conceptually valid variables such as employment, establishment areas, number of rooms in hotels and commercial premises. To accomplish this part, primary and secondary information obtained from the 2018 Freight Transportation Study of the Metropolitan Area of Valle de Aburrá, Colombia and developed by the National University of Colombia, Medellín Headquarters, was used.

The results of this investigation, found out that all the models chosen as the best to explain the trip freight generation phenomenon, have significant variables. Thus, it can be stated that changes in these independent variables affect the explained variable.

This study provides a tool for the development of mobility policies in urban areas and freight transport initiatives (e.g., infrastructure management, traffic management) that aim to reduce the negative externalities of transport associated with LFTG such as congestion and noise.

**Keywords:**

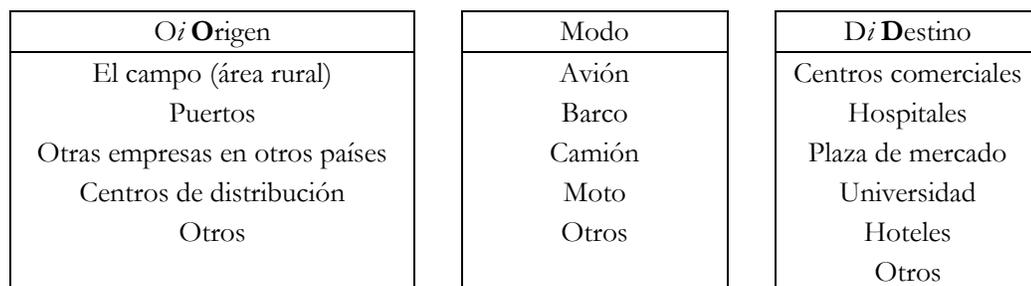
Large Freight Traffic Generators, freight trips generation, freight transport, modelling transport

## 1. INTRODUCCIÓN

El transporte de carga se refiere al movimiento de mercancías distinto a personas hacia, desde, dentro, y a través de áreas urbanas (Ogden 1992). El proceso de transporte de carga es complejo e involucra diversos actores: los que envían, los que reciben, los operadores de transporte, las empresas de camiones, actores de interés (quien se impacta positivamente o negativamente por el transporte de carga), las autoridades de tráfico y las entidades gubernamentales, entre otros; entender su comportamiento exige conocer el sistema, el ambiente que contiene a este sistema, el proceso y los alcances de la recolección de datos y las especificaciones de los modelos que lo representan.

La falta de planificación en aspectos como localización y dinámicas de abastecimiento de los grandes generadores de carga puede impactar negativamente las dinámicas de movilidad de los centros urbanos en diversas proporciones, por ejemplo: no considerar los viajes atraídos de un establecimiento y los viajes producidos puede conducir a contar con áreas de parqueo insuficiente. Para entender estos impactos y como reducirlos, es necesario analizar específicamente como se conforman estas cadenas. La Figura 1 resume el proceso de distribución de un viaje de mercancías para grandes generadores de viajes que tienen un origen y un destino que se conectan a través de un modo (e.g., camión, avión, barco).

**Figura 1. Cadena de generación de viajes**



  
 Cadena de generación de viajes

**Fuente:** Elaboración Propia

Dentro de las investigaciones relacionadas a la generación de viajes, los expertos coinciden en unas variables que han sido aplicadas en diversos estudios de transporte de mercancías y muestran significancia en las pruebas estadísticas (e.g., número de

---

empleados, área efectiva) a su vez relacionan diferentes métodos econométricos para encontrar los estimadores de dichas variables (e.g., regresión lineal).

Parte de las investigaciones en el tema de grandes generadores se han centrado, como la de Jaller, Wang & Holguin-Veras (2015), en analizar el problema y las oportunidades encontradas para edificios como el *Empire State Building* en Nueva York que contiene 594 establecimientos que atraen una cantidad de 1014 viajes en un día típico y alcanza a producir 898 viajes para un total de 1912 viajes. Otro ejemplo es el *Banco de New York* con una cantidad menor de viajes totales, estimada en 84 viajes de carga/ día; todos estos viajes pueden dar paso a una gestión de buenas prácticas de transporte de mercancías puesto que son viajes constantes que se deben atender en la planificación diaria de las ciudades.

Las externalidades del transporte de carga no sólo son un problema de los conductores de vehículos o entidades gubernamentales, sino también de los que envían y los que reciben mercancías (Iding, Meester, & Tavasszy, 2002), si se considera que el transporte de carga es esencial en la vida diaria (VREF & RPA 2016) y completamente complejo y heterogéneo (Ogden 1992), los grandes generadores al igual que los establecimientos desempeñan un papel en la movilidad de las ciudades, y éstos dentro del ecosistema de las ciudades, por lo que entender su comportamiento hace parte del proceso de planificación de las urbes.

La revisión de la literatura acerca de los viajes en Grandes Generadores de Viajes de Carga LFTG (por sus siglas en inglés *Large Freight Traffic Generators*) evidencia que éstos no han sido estudiados a fondo, por lo que esta tesis busca analizar parte de esta brecha en la literatura abarcando establecimientos en las ciudades que cumplen con las características de un gran generador; a partir de una muestra estadística de este tipo de establecimientos, se estimarán modelos econométricos de regresión lineal (simple o múltiple) y no lineal con base en los cuales se encontrarán los modelos con mejores parámetros de ajuste y valor predictivo.

En el desarrollo de la investigación y con base en lo encontrado en campo se definió para el estudio considerar la siguiente definición de grandes generadores de viajes:

*Los grandes generadores de viajes se entienden como lugares de recepción y entrega de un gran número **promedio** de **viajes** de carga en un área urbana a partir de 20 viajes de carga por día. Cabe aclarar que el resultado de este valor fue propio de la evaluación de los antecedentes en otros lugares del mundo que empiezan sus análisis a partir de grandes*

edificios que generan 12 viajes de carga por día como es el ejemplo de las investigaciones de Jaller, Wang & Holguin-Veras (2015).

El desarrollo de la investigación fue presentado en dos congresos académicos; en el *anexo A* se muestra el poster presentado en *Transportation Research Board (TRB 2019)* y en el *anexo B* el poster presentado en *Conference on Urban Freight (VREF 2018)* con el nombre *freight trips generated by large buildings: an empirical investigation*. La tesis se divide en 8 capítulos. El capítulo 1 realiza un acercamiento al tema de estudio, los objetivos y la estructura del documento; el capítulo 2 muestra una revisión del estado del arte; el capítulo 3 describe la metodología empleada en el estudio desde la toma de información hasta los modelos a desarrollar; el capítulo 4 se enmarca en la aplicación de la metodología y la modelación de los datos en un caso de estudio; el capítulo 5 resalta la aplicación de buenas prácticas aplicadas en grandes generadores urbanos de viajes de mercancías, el capítulo 6 muestra las conclusiones del estudio junto a posibles trabajos futuros; el capítulo 7 muestra los anexos; y el capítulo 8 presenta las referencias bibliográficas del estudio.

## **1.1      OBJETIVOS**

### **1.1.1    Objetivo General**

- Estimar modelos econométricos que permitan predecir la producción y atracción de viajes de carga por grandes generadores urbanos de mercancías (LFTGs).

### **1.1.2    Objetivos Específicos**

- Determinación de las variables estadísticamente significativas y conceptualmente válidos para la estimación de viajes de carga en la producción y atracción de viajes en grandes generadores de mercancías urbanos (LFTGs).
- Estimación de cantidad de viajes de carga para grandes generadores de mercancías en áreas urbanas (LFTGs) a partir de los modelos estimados.

## **1.2    HIPÓTESIS**

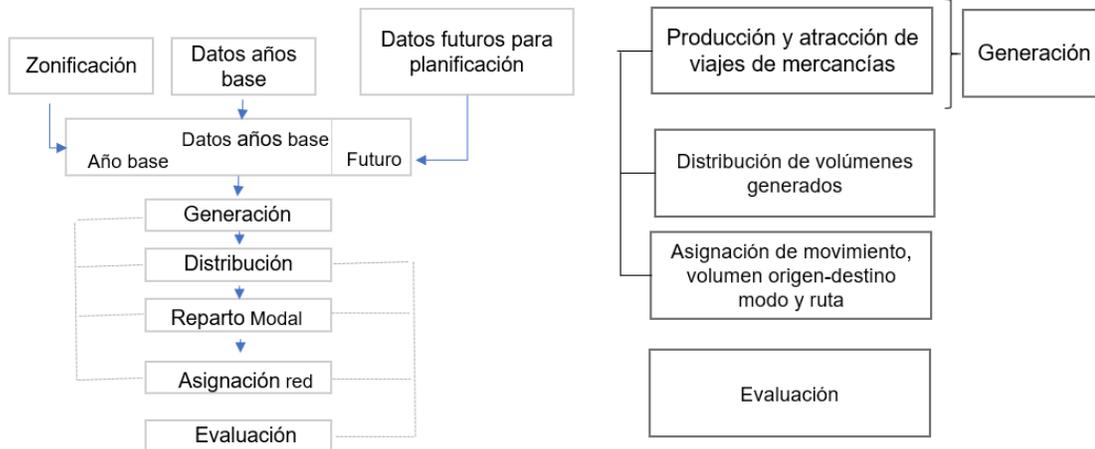
Es posible definir modelos que permitan estimar la producción y atracción de viajes de carga por parte de grandes generadores de mercancías en áreas urbanas.

---

## 2. ESTADO DEL ARTE

El transporte de carga urbano es un componente fundamental de la vida diaria. Todo el tiempo las personas consumen y usan bienes (Comi, Donnelly & Russo 2013). La caracterización del sistema de transporte de carga es cambiante y de una naturaleza altamente heterogénea (Holguín-Veras et al. 2016). Por ello la ingeniería de transporte trabaja con modelos que buscan, por medio de información existente, explicar de forma simplificada la realidad del movimiento de mercancías. Estos modelos son usados como una herramienta de planificación dentro del transporte para la toma de decisiones en todos los niveles (e.g., sociales, políticos, económicos). Según Ortuzar & Willumsen (2008), el modelo de cuatro etapas de pasajeros comienza considerando una zonificación y un sistema de redes así como la recogida y codificación de los datos de planificación, calibración y validación; esto también aplica para carga. Inicialmente se estima la atracción y la producción de viajes, seguido de la distribución de los viajes en ese espacio. Posteriormente, se continua con la elección del modo o de vehículo y se finaliza con la asignación de los viajes de cada modo a su red correspondiente. Kim y Hinkle (1982) nos dice que el modelo clásico de cuatro etapas de mercancías se subdivide en cuatro submodelos: generación de volumen de mercancías, distribución de flujos de productos, elección de modo, asignación de volumen de carga. Sin embargo, establece que no solo se deben considerar volúmenes sino la relación con los viajes, y por lo tanto la generación de viajes de mercancías, la distribución de viajes de mercancías, el reparto modal de viajes de mercancías y la asignación de viajes de mercancías deben estar relacionados a esa demanda de volumen. La Figura 2 muestra una comparación del modelo clásico de viajes de personas y el modelo de viajes de mercancías basado en volúmenes.

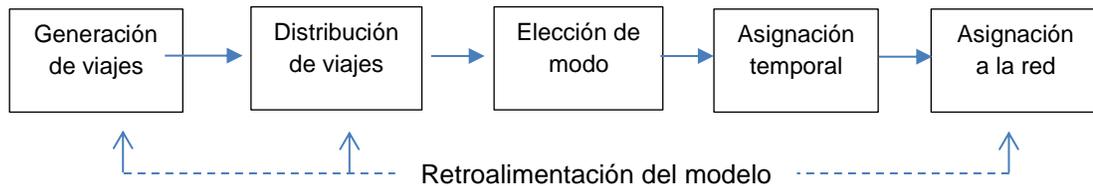
**Figura 2. Modelo de cuatro etapas para personas (izquierda) y para mercancías (derecha)**



Fuente: Ortuzar & Willumsen, 2008

Autores como Comi, Donnelly & Russo (2013), realizan una descripción de la modelación del transporte de mercancías refiriendo el modelo clásico de distribución de camiones urbanos generados en función del empleo y que son distribuidos y enrutados utilizando el modelo tradicional de cuatro etapas (cinco si se agrega la dimensión temporal). La Figura 3 muestra la producción, consumo e intercambio de bienes por parte de empresas y hogares dentro del área urbana.

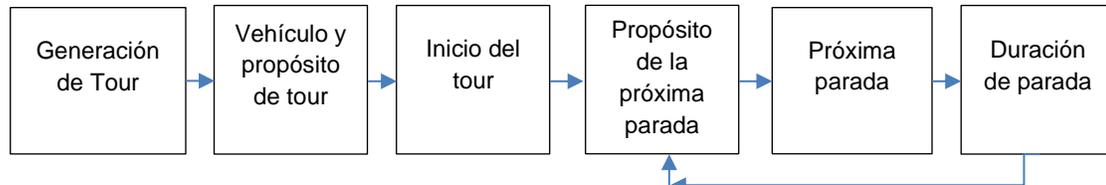
**Figura 3. Modelo clásico de camiones urbanos**



Fuente: Comi, Donnelly & Russo, 2013

Existen modelos basados en Tours que son una extensión del modelo de 4 etapas del transporte. También existen otras herramientas como el marco de modelo de simulación que proporciona estimaciones sólidas considerando los cambios de demanda, las políticas o infraestructura afectan el sistema de transporte, ver Figura 4.

**Figura 4. Estructura de micro simulación de toures basados en movimientos en áreas urbanas**



Fuente: Hunt & Stefan, 2007

Gonzalez-Calderon & Posada-Henao (2013), realizan una descripción de los modelos basados en productos y en viajes de mercancías, en su investigación analizan el enfoque de cada submodelo haciendo énfasis en sus ventajas y desventajas explicando además que dichos modelos no son capaces de captar la complejidad del transporte de carga en su totalidad, todo esto también evidenciado en las investigaciones de Holguín-veras & Thorson (2000), ver Figura 5.

**Figura 5. Modelos basados en mercancías (izquierda) y viajes en el transporte de carga (derecha)**

Etapa	Enfoque	Etapa	Enfoque
Generación del producto	Tasas de generación del producto o modelos de regresión zonal	Generación de viajes	Tasas de generación de viaje o modelos de regresión zonal
Distribución del producto	Modelos gravitatorios o Modelos de oportunidad de intervención	Distribución de viajes	Modelos Gravitatorio (simple o doblemente restringido) o de Oportunidad de intervención
Elección modal por producto	Modelos Logit basados en datos. Escasamente desarrollados en zonas urbanas	Asignación de tráfico o ruta	Técnicas convencionales de asignación de tráfico
Elección de vehículo			
Estimación del vehículo-viaje	Estimados sobre rutas o modelos complementari de viajes vacíos		
Asignación de tráfico o ruta	Técnicas convencionales de asignación de tráfico		

Fuente: (Holguín-Veras & Thorson 2000)

Como se observa en la Figura 5, la primera parte del desarrollo del análisis del transporte de carga es la generación de viajes de mercancías que consiste al igual que en el modelo de cuatro etapas de pasajeros en la atracción y producción de dichos viajes. Según lo encontrado por Ortuzar & Willumsen (2008), los viajes de mercancías están afectados por factores de localización debido a que los orígenes y destinos están relacionados con el segmento industrial del establecimiento, por factores relacionados a los productos debido a la variabilidad de los mismos, por factores físicos como el estado en que se comercializa el producto (e.g., granel, cajas), por factores de operación como tamaño del

establecimiento o política de distribución, por factores geográficos de localización y densidad de población y por factores dinámicos relacionados a las variaciones estacionales de la demanda junto a factores tarifarios las cuales suelen estudiarse, por ejemplo, con la regresión lineal múltiple o clasificación cruzada a nivel zonal para obtener medidas agregadas de generación y atracción de mercancías, especialmente en áreas urbanas.

Según Holguín-Veras, et al (2011) la generación de viajes de carga o FTG (por sus siglas en inglés—*Freight Trip Generation*) refiere a la cantidad de viajes generada por la actividad económica, FG (por sus siglas en inglés—*Freight Generation*). Es necesario hacer esta distinción ya que las variables que explican cada uno de estos fenómenos son distintas, e.g., mientras la generación de carga es explicada por variables como tamaño del establecimiento; la producción de viajes de carga es explicada por variables como empleo, área del sitio, área por piso igual como lo respaldan investigaciones de Bartlett & Newton (1985), Holguín-Veras et al. (2013), Jaller et (2014), Holguín-veras & Thorson (2000) & Sanchez-Diaz (2017).

Dentro de los modelos de FTG (*Freight Trip Generation*) se han empleado distintos tipos de variables relacionadas principalmente al sector de carga (e.g., comercio, industria, servicio) y tamaño (e.g., empleados, área) (Iding, Meester & Tavasszy 2002). La FTG puede subdividirse en FTA (*Freight Trip Attraction*) y en FTP (*Freight Trip Production*). Brogan (1980); Zattero & Weseman (1981), realizan un análisis de generación de viajes en función de tres categorías: estratificación por tipo de vehículo, por propósito de viaje, por estratificación de usos del suelo encontrando a través de modelos de regresión lineal múltiple distintos modelos de generación de viajes de carga para cada estratificación, usando variables relacionadas al empleo y a los ingresos del establecimiento. Por otra parte, Bartlett & Newton (1985) elaboran una metodología para el análisis de información sobre generación e intensidad de viajes de mercancías, así mismo elaboran modelos de regresión utilizando variables relacionadas al área y al empleo. Middleton, Mason, & Chira-Chavala (1986), analizan la generación de viajes en usos del suelo especiales relacionados con la agricultura y zonas de localización de canteras a cielo abierto apoyado en conteos de tráfico vehicular. Tadi & Balbach (1994) establecen tasas con base a las características de unidades de usos de suelo no residenciales tomando como caso de estudio Fontana, USA.

---

Ortuzar & Willumsen (2008) explican la generación de viajes en función de las variables de empleo, volumen del negocio, área cubierta por el establecimiento, áreas de producción mediante análisis de regresión, en su investigación detallan los problemas del análisis de datos debido a que sufren de confidencialidad y fiabilidad, así mismo, estudios alrededor del mundo como Zonnenberg (1989) encontraron una relación entre conteos vehiculares y el tamaño del establecimiento. Iding, Meester & Tavasszy (2002) encontraron una fuerte relación entre las variables de número de empleados, tamaño de la compañía y la variable generación de viajes, encontraron a su vez que la agregación de las encuestas realizadas se da en función de la actividad comercial que desarrollaban los establecimientos. Al-Deek (2007) estudió la generación de viajes empleando técnicas de regresión lineal y redes neuronales en puertos de Florida utilizando variables como número de contenedores y cantidad de barriles. Bastida & Holguín-Veras (2009) utilizan además clasificación cruzada para estructurar grupos de variables. Sanchez-Diaz (2012) incluye variables de accesibilidad y analiza la generación de viajes utilizando técnicas de regresión espacial. Holguín-Veras et al. (2013) y Holguín-Veras et al. (2016) analizan variables de empleo y tamaño del establecimiento y un comparativo de los distintos modelos que se han empleado para explicar la generación de viajes, así como una revisión completa de los modelos empleados en la generación de viajes de carga, generación de carga y viajes de servicio junto a sus aplicaciones.

Dentro de los actores que envían la carga y los que reciben se encuentran establecimientos o construcciones denominados grandes generadores urbanos de mercancías definidos según Jaller, Wang & Holguin-Veras (2015) como *“instalaciones que albergan negocios que tanto individual o colectivamente producen una gran cantidad de viajes de camiones”*. La identificación de estos grandes generadores se da mediante la utilización de tres criterios: grandes edificios que albergan una cantidad considerable de empleados y/o ocupan una gran área y/o son puntos de referencia en las ciudades. Si bien el estudio de modelos de viajes en centros de contenedores, puertos secos y terminales de carga que generan gran cantidad de viajes de mercancías es importante, éstos solo representan una pequeña parte del total de viajes generados en las ciudades a diferencia de grandes hoteles o grandes empresas que son amoblamientos comunes y generadores de viajes constantes en áreas urbanas. Además, investigaciones recientes muestran metodologías para estudiar los niveles de emisiones asociados a grandes establecimientos urbanos (Aditjandra et al. 2016) que sirve para sustentar el desarrollo de políticas de movimiento de mercancías urbana sostenibles (Allen et al. 2003). El anexo C

presenta el cuadro de revisión bibliográfica examinada a lo largo de esta tesis, el cual contiene un resumen de la información.

---

### **3. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VIAJES EN GRANDES GENERADORES DE MERCANCÍAS**

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de esta investigación es estimar modelos econométricos que permitan predecir la producción y atracción de viajes de carga por LFTGs. Para esto se busca identificar las variables que pueden determinar la producción y atracción de viajes de carga en áreas urbanas enfocados en diferentes tipos de grandes generadores entre los que se encuentran: centros comerciales, hoteles, plazas de mercado, grandes edificios, hospitales, universidades; los cuales, según estudios realizados, son más representativos dentro de las áreas urbanas. En este capítulo se detallará la metodología seguida para la elaboración de la presente investigación, desde la identificación del área de estudio hasta los posibles modelos de viajes para LFTG urbanos.

#### **3.1 Identificación del área de estudio**

Para realizar el respectivo análisis de la cantidad de viajes es necesario definir el área de estudio. El universo de la muestra estará contenido de una zona geográfica donde se recolectará la información. Esta zona debe cumplir con la característica de ser urbana, es decir, perteneciente o relativa a las ciudades.

Cabe resaltar que el interés de los académicos, gobernantes y empresarios, en los grandes generadores de viajes de carga urbanos se debe en gran medida a que los mismos son percibidos por los habitantes de su zona de influencia como sinónimo de congestión, ruido, accidentalidad, entre otras externalidades derivadas de la presencia de los LFTG en un área urbana.

Por tal motivo, las características que un área de estudio reúne para considerarse necesario la realización de un análisis de viajes de grandes generadores de carga urbanos son:

1. Ciudades en crecimiento que busquen mejorar la competitividad económica.
2. Áreas urbanas con grandes generadores de viajes identificados.

En estas áreas pueden presentarse vías reducidas o vías compartidos por varios modos de transporte (e.g., bus, privado, vehículos de mercancías), que estén rodeados de grandes generadores y presentar problemas de congestión debido a la interacción de modos de transporte, por ello el análisis del comportamiento de los viajes cobra importancia.

### 3.2 Identificación de los centros generadores de viajes de mercancías

La identificación de los centros generadores de mercancías se puede dar mediante un proceso de consulta en bases de datos gubernamentales, puntos de referencia conocidos y por medio de identificación visual. A continuación, se describe cada uno de estos procesos de identificación:

- ✚ **Consulta en base de datos:** Las administraciones regionales o cámaras de comercio guardan información de grandes empresas, lugares (e.g., grandes universidades, hoteles, grandes edificios) que concentran una gran cantidad de empleados. Las cámaras de comercio por lo general tienen una estimación de la localización de los establecimientos. Mediante un filtro en la base de datos se puede hacer una selección basada en un percentil 95% para solo tener los datos más extremos del conjunto, este análisis se sustenta en que los grandes generadores son datos atípicos en sus variables de área o empleo dentro del conjunto de establecimientos que forman una ciudad. Autores como Jaller, Wang, & Holguín-Veras (2015) tomaron rangos como el caso de New York donde se tomó el 0.5% del total de área de la base de datos del conjunto administrativo de planeación. Se debe tener presente que esta información debe ser depurada debido a que muchas veces los establecimientos se operan con otro nombre comercial y/o se registran en la ciudad, pero no operan en la misma.
- ✚ **Puntos de referencia en las ciudades:** En la ciudad existen grandes edificios o sitios de interés que operan y ocupan un lugar importante en el movimiento de viajes de personas por lo que se hace necesario llevar mercancías diariamente hacia estos establecimientos (e.g., los centros comerciales, los cuales son referencias para cualquier habitante en una metrópoli y forman parte del conocimiento popular de un área urbana)

- ✚ **Recorridos por sectores:** La identificación también exige un reconocimiento de los lugares, se puede dar una sectorización de la ciudad e identificarla visualmente, (e.g., Mapas, fotografías, visitas técnicas, planeación municipal, catastro, comunicación con el personal de un local).

### 3.3 Identificación de la muestra de estudio

Se debe realizar una identificación de la muestra y las posibles restricciones que se puedan tener en cuanto a información. Esto se debe en gran parte a que a la muestra de establecimientos considerados como grandes generadores a partir de la aproximación de 20 viajes/día dentro de un área urbana es muy pequeña en comparación con el resto de los establecimientos. Para determinar cuál es la muestra se debe tener un conocimiento claro de lo que será considerado como gran generador con base en las condiciones de empleo, área, número de viajes atraídos, entre otros. El tamaño muestral se puede definir en función de los datos anteriormente mencionadas, o de estudios similares en otras ciudades donde se haya caracterizado grandes establecimientos. La definición de la muestra partiendo de un muestreo simple para una población conocida (López-Roldan & Facheli 2017) está definida como:

$$n = \frac{N Z_{\alpha}^2 p q}{d^2(N - 1) + Z_{\alpha}^2 p q} \quad \text{Ecuación 1}$$

N = Total de la población

$Z_{\alpha} = 1.96$  (si la confiabilidad es del 95%)

p = proporción esperada de respuesta afirmativa (en este caso 50% = 0.5)

q = 1 – p (en este caso 1-0.05) = 0.95

d = precisión (en investigación se emplea generalmente 5% o 10%)

En caso de que no se conociera la población la formulación quedaría establecida como:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 p q}{d^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Ambos procedimientos garantizan que todos los elementos tienen la misma importancia y probabilidad de ser seleccionados. En algunos casos existen datos de estudios anteriores que deben ser complementados acorde a las necesidades que se requieran para la realización de los nuevos análisis e.g., existen datos dentro de las universidades que caracterizaron el tránsito atraído o las empresas desarrollan planes de movilidad sostenible para mejorar los desplazamientos de sus empleados; sin embargo, esta información no está vigente por varios años por lo que debe ser actualizada y/o retroalimentada a la fecha de estudio.

### **3.4 Invitación a grandes generadores a participar en el estudio de viajes de mercancía en grandes generadores**

Debe haber comunicación con las autoridades locales de transporte, universidades, hoteles, gremios, entidades locales, entre otros, solicitando colaboración con el fin de difundir el estudio (e.g., enviar cartas a establecimientos comerciales, realizar pautas publicitarias en eventos académicos).

Se realiza una convocatoria a los actores a participar en la toma de información, se adquiere el conocimiento de los actores en el marco del estudio, se definen las limitaciones que puede tener el estudio en cuanto a información (e.g., información confidencial que solo la empresa maneja, información de terceros afiliados a la empresa y que tienen incidencia sobre su operación) y cómo brindar confianza a las empresas mediante acuerdos de confidencialidad, ofrecer un correo electrónico certificado o número telefónico institucional en caso de inquietudes o dudas al respecto, ofrecer disponibilidad en cualquier momento con los grandes generadores para obtener la información solicitada, entre otros.

### **3.5 Elaboración de encuesta y prueba piloto para entrevista con grandes generadores**

Para la elaboración de la encuesta piloto se debe realizar un análisis preliminar a partir de información existente, para esto se emplean estudios previos de viajes de transporte de carga o artículos que estudien el fenómeno de la generación de viajes de carga. La información, variables y métodos seleccionados inicialmente por medio de dicha revisión de la literatura, deben ser verificados en cuanto a su relevancia en la zona de estudio a

---

través de entrevistas y comunicación directa con los actores de interés del transporte de carga.

Recolectada dicha información, ésta servirá para elaborar y ajustar la encuesta piloto. Algunos de los cambios que permite esta etapa son: seleccionar las variables a evaluar en la encuesta final, revisar posibles formas de realizar la encuesta, definir los alcances de ésta, comprobar la comodidad del tiempo promedio de las entrevistas y evaluar si existen otras alternativas para realizar la toma de información (e.g., encuestas de interceptación de viajes en las entradas y salidas de los grandes generadores o aforos vehiculares).

Una vez determinado lo anterior, se realiza el formulario preliminar de encuesta, con el cual se ejecutará la prueba piloto, con lo cual se asigna el personal necesario para la entrega y realización del acercamiento preliminar. En la encuesta piloto permite una nueva revisión a la encuesta, favoreciendo la validación de métodos, formatos, procedimiento de acercamiento a los actores, personal apropiado para dar respuesta a las encuestas, tiempo promedio de ejecución de encuesta, entre otros.

### **3.6 Entrevista con actores involucrados en los viajes de los grandes generadores de mercancías**

Identificados los actores y concertadas las citas con los participantes, se realiza la entrevista donde se relacionan las variables de estudio seleccionadas (e.g., número de empleados en el establecimiento, áreas, número de accesos). Durante las entrevistas también se logra identificar otras características físicas del establecimiento y conocer el proceso logístico en el interior del establecimiento.

Las entrevistas personales logran un acercamiento entre la empresa y la institución que realiza el estudio, además de esto, el conocimiento de los procesos internos favorece la interpretación posterior de los resultados. A pesar de esto, por tratarse de establecimientos complejos, es posible que la información no logre ser recolecta en su totalidad mediante un primer acercamiento, por lo que se debe realizar llamadas o visitas posteriores. Durante el proceso de entrevistas se puede encontrar establecimientos que no desean participar o que desisten una vez iniciado el proceso; quizás la más relevante de las razones por las que se presenta dicha negativa es la confidencialidad de la información que deben

suministrar durante las encuestas. Por tal motivo, se debe hacer claridad en el nivel municipal o regional del estudio y la aplicabilidad y ventajas del mismo, ofreciendo la posibilidad de obtener los resultados del estudio.

Los pasos de la entrevista van acorde al formulario que se desea completar y un manual que el consultor o científico ha diseñado. Para el caso de los grandes generadores es necesario tener en cuenta 4 secciones principales:

- a) **Información general del establecimiento:** refiere a la información de contacto, información general del establecimiento que permita identificarlo y localizarlo. Esta información va de la mano con lo recolectado en la prueba piloto y ayuda a entender el comportamiento y operación de este.
- b) **Información relacionada a los vehículos y la forma como distribuyen la mercancía:** refiere a la información de los vehículos que usan, si tienen operarios para manejar sus mercancías, la cantidad de parque automotor, el número de vehículos que utilizan, etc.
- c) **Información relacionada a los viajes del establecimiento:** refiere a la información relacionada a los viajes que genera cada producto, el peso de éstos y el tipo de vehículo en que los comercializa.

Se debe tener presente que la información consignada debe ser legible para la persona o equipo que transcribe la información, de la toma de información recolectada dependerá la estructuración de la base de datos y de las variables que se consideren mayormente depuradas en su obtención.

### 3.7 Agrupación por grupos de grandes generadores de viajes

Los grandes generadores de mercancías obedecen a una actividad económica. Por esto, se hace necesario realizar una caracterización para empezar a conocer las actividades comerciales que se involucran dentro de un gran generador. Esta clasificación debe tener relación con estándares internacionales (e.g., la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas—CIIU, que es la clasificación internacional de referencia de las actividades productivas). Su objetivo principal es proporcionar un conjunto de categorías de actividades que puedan utilizarse para la recopilación y presentación de informes estadísticos de acuerdo con esas actividades (Naciones Unidas

2009). La Tabla 1 muestra la clasificación internacional industrial uniforme agrupada por secciones.

**Tabla 1. Clasificación industrial internacional uniforme**

<b>Grupo</b>	<b>Descripción de la actividad principal</b>
A	Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca
B	Explotación de minas y canteras
C	Industrias manufactureras
D	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado
E	Distribución de agua; evacuación y tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental
F	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas
G	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas
H	Transporte y almacenamiento
I	Alojamiento y servicios de comida
J	Información y comunicaciones
K	Actividades financieras y de seguros
N	Actividades de servicios administrativos y de apoyo
O	Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria
P	Educación
Q	Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social
R	Actividades artísticas, de entretenimiento y recreación

**Fuente:** Naciones Unidas, 2009

El informe realizado por el DANE (2019) sobre la clasificación industrial uniforme de todas las actividades económicas (CIIU), manifiesta que esta clasificación se da debido a procesos o un grupo de operaciones que combinan recursos como mano de obra, técnicas de fabricación e insumos, para la producción de bienes y servicios. De igual forma existen otras clasificaciones para tener en cuenta en el proceso de recolección de la información. Para el caso de los productos esta la clasificación estándar de códigos de mercancías transportadas (productos) clasificación estándar de mercancías transportadas SCTG (por sus siglas en inglés *Standard Classification of Transported Goods*) (U.S. Department of transportation 2012) la cual agrupa los productos en 9 categorías y tiene una estructura

de niveles similar al CIU. La agrupación de productos en estas categorías se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Clasificación estándar de mercancías SCTG**

<b>Grupo</b>	<b>Descripción</b>
01-05	Productos agrícolas y pescado
06-09	Granos, alcohol y productos de tabaco
10-14	Piedras, minerales no metálicos y minerales metálicos
15-19	Carbón y derivados del petróleo
20-24	Productos químicos básicos, productos químicos y farmacéuticos
25-30	Troncos, productos de madera y textiles y cuero
31-34	Metal base y maquinaria
35-38	Vehículos electrónicos, motorizados e instrumentos de precisión
39-43	Muebles, cargar mixtas y misceláneos, productos fabricados

**Fuente:** U.S. Department of transportation, 2012

Estos dos métodos de clasificación son recomendados por la literatura. Sin embargo, el investigador/consultor puede agrupar los grandes generadores acorde a los elementos de la muestra que requiera estudiar (e.g., solo plazas de mercados o centros comerciales donde se comercializan un sin número de productos). La Tabla 3 muestra la caracterización acorde a tipos de establecimientos principales que puede seguirse para investigaciones en áreas urbanas.

**Tabla 3. Agrupación de grandes generadores en áreas urbanas**

<b>Código de generador</b>	<b>Descripción</b>
1	Grandes hoteles
2	Grandes centros comerciales
3	Grandes hospitales
4	Grandes plazas de mercado
5	Grandes empresas
6	Grandes edificios empresariales
7	Grandes edificios de interés (e.g., museos, estadios)
8	Grandes Universidades
9	Otros

**Fuente:** Elaboración propia

---

A su vez se pueden caracterizar los grandes establecimientos a través de los pequeños establecimientos que los componen, esto es especialmente útil para el caso de las plazas de mercado y para centros comerciales que albergan dentro de sus instalaciones una gran variedad de actividades económicas. Para ello se puede agregar a nivel de la actividad principal o actividades principales que realizan para determinar la carga a nivel de micro establecimiento y luego poder expandirla a nivel de un solo establecimiento macro tomando como referencia que los factores de expansión son datos representativos del conjunto de establecimientos que tomaría la figura de universo en este caso el establecimiento macro sería la plaza de mercado o los centros comerciales.

### 3.8 Encuestas y base de datos generada

Con base en las respuestas y las observaciones realizadas por el investigador/consultor, se procede a elaborar una base de datos que cumpla la función de consignar y procesar la información. Se entiende por base de datos un conjunto de datos almacenados que están organizados en una estructura de datos (Marqués, 2011). Esto hace parte del proceso de gestión de bases de datos. Se debe tener en cuenta que la transcripción de la información requiere un personal que tenga experiencia en el tema de estudio y en el proceso que se viene realizando, evitando cometer errores, depurando la información lo que más pueda y conocer el porqué de cada dato. En algunas ocasiones cuando la encuesta la responde directamente el establecimiento sin intervención del encuestador, ésta no logra captar lo necesario. La base de datos generada (e.g., en Excel) debe responder a formatos que sean ejecutables por paquetes estadísticos como *Rstudio*, *STATA*, *SPSS*, etc. que serán manipulados por el investigador/consultor para alcanzar sus objetivos. La elaboración de la base de datos requiere además ser consistente con la naturaleza del problema y la dinámica para que se pueda adaptar a las necesidades del investigador y la naturaleza de los datos. En general la base de datos debe agrupar en su entorno cuatro niveles: *los usuarios, programadores y administradores, los programas y comandos y los sistemas de gestión de base de datos*. Una vez elaborada la base de datos el interlocutor empieza a realizar una revisión de la información para evitar datos erróneos que sean incongruentes con las variables a medir (e.g., que la variable de edad de los establecimientos esté representada por datos discretos).

### 3.9 Naturaleza de los datos y análisis del problema

Conocer la naturaleza de los datos es el conocimiento previo a la formulación de modelos econométricos, los datos representan unidades muestrales dentro de la población, a su vez su conocimiento ayuda a detectar posibles deficiencias o consecuencias a la hora de la interpretación de resultados. Los datos se pueden clasificar y cuantificar y permiten el análisis, por ello su importancia en la descripción del problema.

**Datos transversales:** obedecen a datos de una o más variables recopilados en el mismo punto del tiempo (Gujarati & Dawn 2010) sin considerar diferentes datos a lo largo de los años para los mismos objetos de estudio. El problema de estos datos viene asociado a la variabilidad debido a que algunos centros generadores pueden producir una gran cantidad de viajes mientras otros establecimientos alcanzan valores menores.

Los datos exigen una caracterización que permitan realizar una descripción estadística de los mismos. Algunos elementos que hacen parte de la estadística descriptiva y deben manejarse al realizar un análisis preliminar de la información por cada variable son:

1. **Mínimos y máximos:** representan el valor mínimo y máximo que adquiere la variable y define el rango de esta, en este sentido, el rango de la muestra queda definido como se muestra en la Ecuación 3:

$$\text{Rango} = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}} \quad \text{Ecuación 3}$$

2. **La media** es un promedio numérico y está representada por la Ecuación 4

$$\bar{x} = \sum_{i=0}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_n}{n} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde  $X_1, X_2 \dots X_i$  son los números de la variable y  $n$  es el total de datos

3. **Desviaciones estándar:** es una medida de dispersión de los datos con respecto a la media, la desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza. Ver Ecuación 5.

$$\sigma = \sqrt{s^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

4. **Varianza:** es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media. La varianza queda indicada en la Ecuación 6

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Ecuación 6

De igual forma para el caso del movimiento de mercancías se puede tener indicadores cómo pueden ser la cantidad de toneladas (ton) transportadas en un viaje (camión), la cantidad de viajes por tipo de establecimiento considerado, la cantidad de empleados necesarios para mover la mercancía, la cantidad de área que los establecimientos disponen para mantener su operación relacionada al transporte de mercancías. Estos indicadores también se pueden describir estadísticamente para entender los datos de los grandes generadores de viajes.

### 3.10 Modelos de viajes para grandes generadores urbanos de mercancías

Los modelos de generación de viajes son apoyados por la revisión de literatura del investigador, el cual relaciona el problema teórico con el problema visto desde el objeto del estudio, esto con miras a analizar la generación de estos viajes en el gran generador y cómo incorporarlos dentro de las políticas de la planificación urbana. Los modelos, con frecuencia se constituyen por modelos empíricos que son simplificaciones de estructuras más complejas y desconocidas (Walpole et al. 2007). A continuación se presenta el desarrollo metodológico que siguen los modelos de generación de viajes y que han sido compilados en el Programa nacional de investigación cooperativa de carga NCFRP (por sus siglas en inglés, *National Cooperative Freight Research Program*) Reporte 37 Holguín-Veras et al. (2016). La tipología de los modelos se realiza desde dos enfoques, el primer análisis es de naturaleza econométrica.

Se realizan dos tipos de construcciones de modelos, los modelos de naturaleza econométrica que son estimados usando técnicas estadísticas para asegurar que los parámetros disminuyan al máximo las perturbaciones, y los modelos de tasas que no son estadísticamente estimados y se concluyen con base relaciones entre variables por ejemplo viajes sobre área, viajes sobre empleo etc., dichas tasas pueden presentar problemas ya que muestran un comportamiento constante que no es aplicable en todos los casos.

### 3.10.1 Función de regresión muestral o análisis de regresión basado en la teoría econométrica.

El análisis de regresión se relaciona en gran medida con la estimación o predicción de la media (de la población) o valor promedio de la variable dependiente, con base en los valores conocidos o fijos de las variables explicativas (Gujarati & Dawn 2010), al unir los puntos de las medias condicionales de Y graficados en diferentes valores de X se obtiene la línea de regresión poblacional (LRP).

#### 3.10.1.1 Concepto de función de regresión poblacional

Simbólicamente la media poblacional  $E(Y/X_i)$  es función de  $X_i$ , donde  $X_i$ , es un valor dado de X.

$$E(Y/X_i) = f(X_i) \quad \text{Ecuación 7}$$

donde  $f(X_i)$  denota alguna función de la variable explicativa X, en una situación real no se dispone de toda la población para efectuar este tipo de análisis, por lo tanto, la Ecuación 7 es empírica, una primera aproximación a una forma más real es:

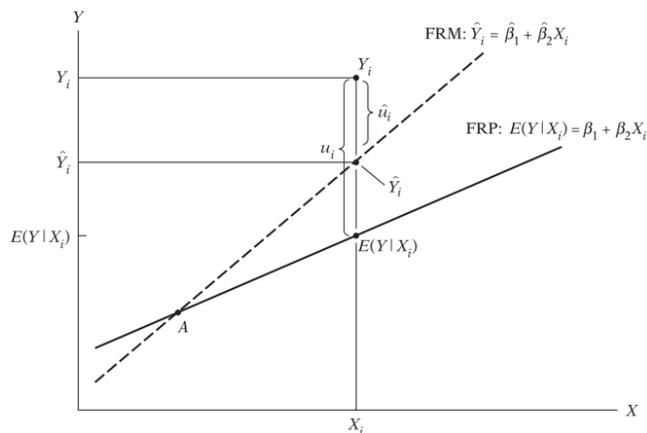
$$E(Y/X_i) = \beta_1 + \beta_2 X_i \quad \text{Ecuación 8}$$

donde  $\beta_1, \beta_2$  son denominados parámetros fijos, esta forma también es llamada regresión, ecuación de regresión o modelo de regresión (Gujarati & Dawn, 2010). Adquieren el nombre de regresión lineal porque geoméricamente es una recta y puede ser lineal en las variables como en los parámetros. En la mayoría de las ocasiones y por la limitación de datos estas rectas no son realizadas sobre la población sino sobre una muestra. Ver Ecuación 9.

$$\tilde{Y} = \tilde{B}_1 + \tilde{B}_2 X_2 + \tilde{u}_i \quad \text{Ecuación 9}$$

donde  $\tilde{Y}, \tilde{B}_1, \tilde{B}_2$  son estimadores o estadísticos muestrales de  $E(Y/X_i), \beta_1, \beta_2$  respectivamente, también se estima un residual que recoge todos los errores o variables que nos son consideradas en el modelo. El valor arrojado se conoce como estimación. La Figura 6 muestra geoméricamente estos dos conceptos.

Figura 6. Función de regresión muestral y función de regresión muestral estimada



Fuente: Gujarati & Dawn (2010)

### 3.10.1.2 Método de mínimos cuadrados ordinarios

Para encontrar el parámetro de los modelos se ha desarrollado dos tipos de métodos, el de mínimos cuadrados y el método de máxima verosimilitud. Debido a la simplicidad del método de mínimos cuadrados éste se ha posicionado como el intuitivo y matemáticamente más sencillo que el método de máxima verosimilitud, su desarrollo matemático se explica a continuación:

Formulación de la función de regresión poblacional

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_i + e_i$$

Ecuación 10

$Y_i$  = variable dependiente

$X_i$  = variable independiente

$\beta_1$  y  $\beta_2$  = parámetros

Formulación de la función de regresión muestral

$$\tilde{Y}_i = \tilde{\beta}_1 + \tilde{\beta}_2 X_i + \tilde{u}_i$$

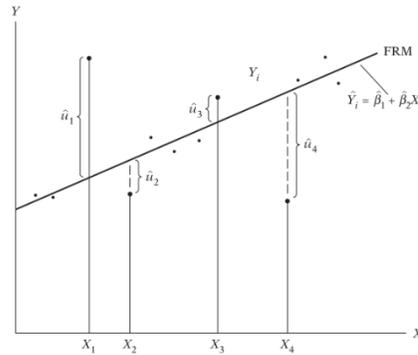
Ecuación 11

$\tilde{Y}_i$  = variable dependiente estimada

$\tilde{\beta}_1$  = parámetros estimados

La representación gráfica del método de mínimos cuadrados puede observarse en la Figura 7.

Figura 7. Método de mínimos cuadrados ordinarios



Fuente: Gujarati & Dawn (2010)

Los  $\tilde{u}_i$  (residuos) son la diferencia entre los valores observados y los estimados de Y los coeficientes  $\tilde{B}_2$  y  $\tilde{B}_1$  se conocen como estimadores de mínimos cuadrados. Para mayor profundidad en los desarrollos y las bondades estadísticas remitirse a Gujarati & Dawn (2010)

$$\tilde{B}_2 = \frac{\sum Y_i X_i}{\sum X_i^2} \quad \text{Ecuación 12}$$

Y se obtiene

$$\tilde{B}_1 = \tilde{Y} - \tilde{B}_2 \tilde{X} \quad \text{Ecuación 13}$$

$\tilde{Y}$  = variable dependiente estimada

$\tilde{B}_i$  = parámetros estimados

Para mayor profundidad en los desarrollos y las bondades estadísticas remitirse a Gujarati & Dawn (2010).

### 3.10.1.3 Modelos no lineales

Existen otros tipos de modelos conocidos como modelos no lineales que han logrado analizar una medida de la carga o la actividad de servicio FSA (*Freight & Service Activity*) (Holgún-Veras et al. 2016).

$$Fi = \varphi E_i^y$$

Ecuación 14

donde,

$Fi$  = nivel de actividad de carga del establecimiento

$\varphi$  = parámetro del coeficiente

$E$  = variable de evaluación

Modelos como los de la Ecuación 14 han sido usados en el estudio de generación de viajes debido a que:

1. Son flexibles y capaces de acomodar patrones de viajes
2. Consistentes con el modelo de cantidad de orden económica (EOQ Model)
3. Son una buena aproximación a los pedidos de los establecimientos comerciales

Para este caso, los modelos no lineales se dan de tres tipos, lineal-logarítmico, logarítmico-lineal y logarítmico-logarítmico:

$$\text{Lineal} - \log \quad Y_i = \beta_o + \beta_1 * \text{Ln}(X_1)$$

Ecuación 15

$$\text{Log} - \text{lineal} \quad \ln(Y_i) = \beta_o + \beta_1 * X_1$$

Ecuación 16

$$\text{Log} - \log \quad \ln(Y_i) = \beta_o + \beta_1 * \text{Ln}(X_1)$$

Ecuación 17

### 3.10.1.4 Corrección por sesgo de modelos no lineales

Cuando se realiza una transformación logarítmica no solo las variables regresoras se alteran sino también el error que acompaña a cada una de ellas. Por ello cuando se desea predecir usando *log-log* es necesario multiplicar por un factor de corrección  $e^{\frac{s^2}{2}}$ , donde  $S^2$  es la varianza de los residuales.

Aplicando los modelos no lineales y sus transformaciones a la generación de viajes tendremos:

#### Modelo logarítmico logarítmico sin corrección por sesgo

$$\text{Ln}(Y) = \beta_1 \text{Ln}(X)$$

$$Y = e^{(\beta_1 \ln(x))}$$

Ecuación 18

Y = variable dependiente

X = variable independiente o de estudio

### Corrección por sesgo para el Modelo logarítmico logarítmico

Sabemos que a la estimación está asociado un término de error producto de los valores que las variables no captan, este término se simboliza por  $\varepsilon$  quedando expresada de la siguiente manera:

$$\ln(Y) = \beta_1 \ln(X) + \varepsilon \quad \text{Ecuación 19}$$

*Y = variable dependiente o de estudio*

*X = variable independiente*

$\varepsilon$  = término de error

Aplicando logaritmo exponencial a ambos lados

$$Y = e^{(\beta_1 \ln(X) + \varepsilon)}$$

$$Y = e^{(\beta_1 \ln(X))} \times e^{(\varepsilon)}$$

Según (Miller 1984)  $\varepsilon = \frac{\sigma^2}{2}$

Haciendo  $\beta = e^{\frac{\sigma^2}{2}}$  obtenemos,

$$Y = \beta \times e^{(\beta_1 \ln(X))} \quad \text{Ecuación 20}$$

### Corrección por sesgo para el modelo logarítmico-lineal

Para el caso del modelo logarítmico-lineal también se aplica una corrección por sesgo del modelo quedando expresado como se muestra a continuación.

$$\ln(Y) = \beta_1 X + \varepsilon$$

$$Y = e^{\beta_1 X + \varepsilon}$$

Según (Miller, 1984)  $\varepsilon = \frac{\sigma^2}{2}$  obteniendo,

$$Y = \beta \times e^{(\beta_1 X)}$$

Ecuación 21

### 3.10.2 Procesos de agregación

Comúnmente se utiliza agregación para medir la actividad de servicio de la carga (FSA) a nivel de corredores, de códigos ZIP o zonas de análisis de transporte, útil para mirar la forma de acomodar los espacios en un área para el transporte de carga ( Holguín-Veras et al. 2016). Se discuten dos técnicas: 1. Los escenarios en los cuales la agregación a nivel de establecimiento es posible y, 2. Los escenarios en los cuales solo la agregación de datos es posible.

### 3.10.3 Agregación de datos a nivel de establecimiento

**Enumeración completa:** Es una forma simple de agregación en donde se le aplica un modelo a un determinado sector industrial para obtener los valores a nivel de establecimiento, luego sumando las estimaciones realizadas a nivel de establecimiento. Matemáticamente queda definido según la Ecuación 22

$$F = \sum_{i=1}^n fi$$

Ecuación 22

donde,

$F$  = Agregación de la generación de una medida de FSA

$fi$  = FSA medida para el establecimiento  $i$

**Estimación simple:** Es una estimación utilizada cuando los datos no están completos en el área de estudio o el número de establecimientos es muy grande. El planteamiento consiste en estimar el promedio de FSA que se estudia, esta técnica de estimación queda expresada en la Ecuación 23

$$\bar{f} = \frac{\sum_{i=1}^n fi}{n}$$

Ecuación 23

Una vez el promedio de los valores es determinado, el número agregado se obtiene de la multiplicación del promedio por el total de establecimientos. Ver Ecuación 24.

$$F = N\bar{f} \quad \text{Ecuación 24}$$

donde:

$n$ = número de datos del promedio del número de establecimientos

$F$ = agregación de la generación como medida de FSA

$f_i$ = medida de FSA del establecimiento  $i$ ,

$\bar{f}$  = promedio FSA para una muestra pequeña

$N$ = número total de establecimientos en el área de estudio

### 3.10.4 Modelos cuando solo la agregación de datos es posible

Esta metodología sólo se usa cuando existen datos agregados disponibles por sector industrial y los modelos a establecimientos son lineales (Holguín-Veras et al. 2017). Algunos ejemplos de este nivel de agregación se dan cuando se trabajó con datos estadísticos oficiales que están agregados por códigos ZIP o con datos de planificación agregados a nivel de TAZ (Transportation Analysis Zone).

#### 3.10.4.1 Modelos constantes

Cuando la actividad de la carga o el servicio a nivel de establecimiento es constante, esta relación puede ser expresada matemáticamente en la ecuación. Ecuación 25

$$f_i = \alpha \quad \text{Ecuación 25}$$

Sustituyendo  $\alpha$  de la Ecuación 25 para  $f_i$  en la Ecuación 22 se obtiene la Ecuación 26

$$F = \sum_{i=1}^n \alpha = n \alpha \quad \text{Ecuación 26}$$

Esta ecuación muestra que la actividad de carga es constante, y para lograr la estimación agregada se debe multiplicar por el número total de establecimientos.

### 3.10.4.2 Modelos de tasa empleo

Es representado mediante la Ecuación 27 donde  $\beta$  es una contante de la tasa de FTG por empleo

$$f_i = \beta E_i$$

Ecuación 27

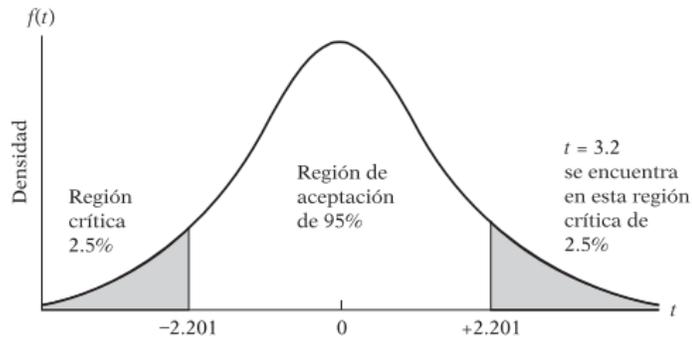
## 3.11 Análisis de resultados

Con base en la información recopilada y los modelos extraídos se analizan las variables que estadísticamente fueron más significativas y que a su vez son conceptualmente válidas con base en la revisión de literatura y el conocimiento del investigador. Los parámetros que se evalúan son:

**F-test:** Es para los modelos. Sirve para comparar modelos que se han ajustado a un conjunto de datos e identificar el mejor

**T-test:** *Es para las variables.* Es un estadístico de prueba para aprobar o rechazar una Hipótesis, el criterio más utilizado es el valor [ 1.96] y refiere que acepta la Hipótesis nula con un porcentaje del 95%. La prueba de significancia de los coeficientes de regresión (T-test): es una herramienta para probar Hipótesis estadísticas, es un procedimiento que utiliza los resultados muestrales para verificar la verdad o falsedad de una Hipótesis nula. En el lenguaje de pruebas de significancia, se dice que un estadístico de prueba es estadísticamente significativo si el valor del estadístico de prueba cae en la región crítica. Ver Figura 8

Figura 8 Intervalo de confianza para 95%



Fuente: Gujarati & Dawn (2010)

En este caso, se rechaza la Hipótesis nula. De la misma manera, se dice que una prueba no es estadísticamente significativa si el valor del estadístico de prueba cae en la región de aceptación.

Por otra parte, se tiene el **coeficiente de determinación ( $R^2$ )** como una medida de bondad de ajuste y la más conocida, mide la proporción o el porcentaje de la proporción total de  $Y$  explicada por un modelo de regresión. La prueba de  $F$ -test por su parte explica la capacidad de las variables de un modelo para explicar el fenómeno.

---

## 4. CASO DE ESTUDIO: ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ.

Con el fin de aplicar la metodología descrita en la sección anterior, se selecciona un caso de estudio tomando como fuente principal la encuesta de transporte de carga de 2018 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Este estudio buscó conocer los “*Aspectos relevantes para la obtención de la matriz Origen–Destino de carga, por medio de la actualización y complemento de información existente, diagnóstico del movimiento de carga en el área metropolitana, así mismo, identificar algunas prácticas que se realizan en la región por parte de generadores, transportadores y receptores de carga y proponer algunas iniciativas que podrían implementarse en la región.*” (Universidad Nacional de Colombia 2018a). A su vez se realizó conteos de vehículos de carga en grandes establecimientos para determinar la atracción/producción de vehículos de mercancías en Hoteles, centros comerciales, hospitales, universidades, plazas de mercado, y algunos edificios. En las siguientes secciones se desarrolla la metodología propuesta en el anterior capítulo.

### 4.1 Descripción del área de estudio

Esta investigación es producto del estudio sobre transporte de carga 2018 desarrollado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) junto a estudios complementarios (e.g., conteos vehiculares a las afueras de los establecimientos durante periodos típicos) realizados por el tesista para conseguir los objetivos propuestos.

En la actualidad, el área metropolitana del Valle de Aburrá tiene un eje estructurante de la movilidad denominado el Corredor del Río, la topografía de la ciudad se distingue por ser un valle rodeado de laderas, debido a ella y su topografía todos los modos de transporte que cubren desplazamientos de sur-norte y oriente-occidente atraviesan en algún punto de su trayecto el corredor principal. Los proyectos de infraestructura reducen a su vez la capacidad vial del corredor principal. El área de estudio se muestra en la Figura 9, donde se observan los 10 municipios que componen el AMVA.

Figura 9. Área de estudio de la investigación.



**Fuente:** Elaboración propia a partir de cartografía del municipio de Medellín (Alcaldía de Medellín, 2019)

El área de estudio está conformada por 10 municipios cuya cabecera principal es Medellín. La población total estimada para el área metropolitana es aproximadamente tres millones setecientos mil habitantes (Oviedo & Arias 2019) con un promedio de seis millones de desplazamientos al día a través de la ciudad en todos los modos de transporte (Área metropolitana del Valle de Aburrá 2012) En el año 2012, la encuesta sobre transporte de carga 2012 en el AMVA encabezada también por la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, muestra que la mayoría de los envíos que se producen en el AMVA son debidos a pequeños establecimientos (que son muchos; y no debidos a la gran industria (que son pocos y reciben camiones grandes). La encuesta del año 2012 se planteó

---

describir los patrones de producción, recepción, con su correspondiente generación de viajes hacia los sitios considerados como GGTs (Grandes Generadores de Tráfico de mercancías). Para ello se planteó estimar el número de vehículos generados por establecimiento discriminado por tipo de vehículo y tipo de empresa (Área metropolitana del Valle de Aburrá 2012), este capítulo del estudio del año 2012 fue actualizado en 2018. En 2012, el estudio concluyó que en el Valle de Aburrá se mueven en el día aproximadamente 84.000 mil toneladas que tienen como origen, destino o paso el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la noche se transportan 18 mil toneladas para un total de 102 mil toneladas en 24 horas. De esta cantidad, el 82 % de la carga tiene origen o destino en el AMVA, mientras que solo el 18 % solo es de paso.

El estudio del año 2012 no dejó claridad acerca de la cantidad de estos vehículos son atraídos por los grandes generadores de mercancías, lo que motivó la caracterización de estos viajes en el estudio de transporte de carga del Área Metropolitana del Vale de Aburrá del año 2018 y tenerlos presentes como herramienta de planificación territorial. Por ello, el estudio sobre transporte de carga 2018 contempló dentro de sus alcances la descripción total de los patrones de viajes de algunos establecimientos basado en muestreos aleatorios por tipo de establecimiento. Los resultados encontrados se muestran más adelante en el desarrollo de esta tesis.

## **4.2 Identificación de los centros generadores de viajes de mercancías**

Con el ánimo de describir el movimiento del transporte de mercancías de los grandes generadores en el área metropolitana, se buscaron en el AMVA grandes establecimientos que por sus características produjeran y atrajeran gran cantidad de viajes con mercancías. Dentro de los criterios para su selección estuvo una estratificación por número de empleados acorde a la base de datos suministrada por la Cámara de Comercio de Medellín y Aburrá Sur. Además, se realizan preguntas a participantes en el proyecto relacionadas a identificar estos centros generadores de viajes (e.g., ¿Cuántos centros comerciales conoce en el área metropolitana? ¿En qué sector de la ciudad observa una alta concentración de camiones?); una vez realizado esto, se realiza una compilación de la información la cual se depura. A continuación, se presenta un ejemplo de depuración de datos, en donde para el mismo centro comercial, se presentan diferentes nombres.

Tabla 4. Depuración de la identificación de centros generadores de viajes de mercancías

Persona A	Persona B
¿Cuántos centros comerciales conoce en el área metropolitana?	¿Cuántos centros comerciales conoce en el área metropolitana?
Respuesta/ Centro Comercial Florida	Respuesta/ Florida Plaza
<b>Florida – Parque comercial</b>	

Fuente: Elaboración propia

Los grandes generadores pueden agruparse acorde a su clasificación industrial CIU en su versión 4 descrita como “una clasificación de actividades económicas por procesos productivos que clasifica unidades estadísticas con base en su actividad económica principal. Su propósito es ofrecer un conjunto de categorías de actividades que se pueda utilizar para la reunión, análisis y presentación de estadísticas de acuerdo con esas actividades” (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2019).

La Tabla 5 muestra la descripción de cada actividad y la cantidad de establecimientos considerados en el estudio. Debido a la complejidad en la actividad económica de cada establecimiento estos han generado distintas dinámicas que influyen la generación de mercancías (e.g., una empresa dedicada al reparto de tiendas no funciona igual que un centro comercial que recibe mercancías), esto forma parte de conocer el problema de estudio.

**Tabla 5. Clasificación industrial internacional uniforme y cantidad de generadores de viajes identificados en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.**

<b>Grupo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
A	1	Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca
B	1	Explotación de minas y canteras
C	59	Industrias manufactureras
D	1	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado
E	2	Distribución de agua; evacuación y tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental
F	2	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas
G	48	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas
H	4	Transporte y almacenamiento
I	5	Alojamiento y servicios de comida
J	2	Información y comunicaciones
K	1	Actividades financieras y de seguros
N	18	Actividades de servicios administrativos y de apoyo
O	3	Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria
P	7	Educación
Q	8	Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social
R	4	Actividades artísticas, de entretenimiento y recreación
Total	<b>166</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

Se puede resaltar que la actividad económica de los principales grandes generadores está relacionado a industrias manufactureras, es decir las industrias que transforman materias primas en bienes terminados, seguido de esto se encuentran industrias que comercializan al por mayor y al por menor con un total identificado de 48 establecimientos relacionados a este tipo (Universidad Nacional de Colombia 2018c).

El estudio de transporte de carga del Área Metropolitana del Valle de Aburrá dividió los orígenes y destinos de la carga en 3 agrupaciones:

1. A nivel de Colombia en tres zonas: Centro y oriente de Colombia, Norte de Colombia y Suroccidente de Colombia. Ver Figura 10

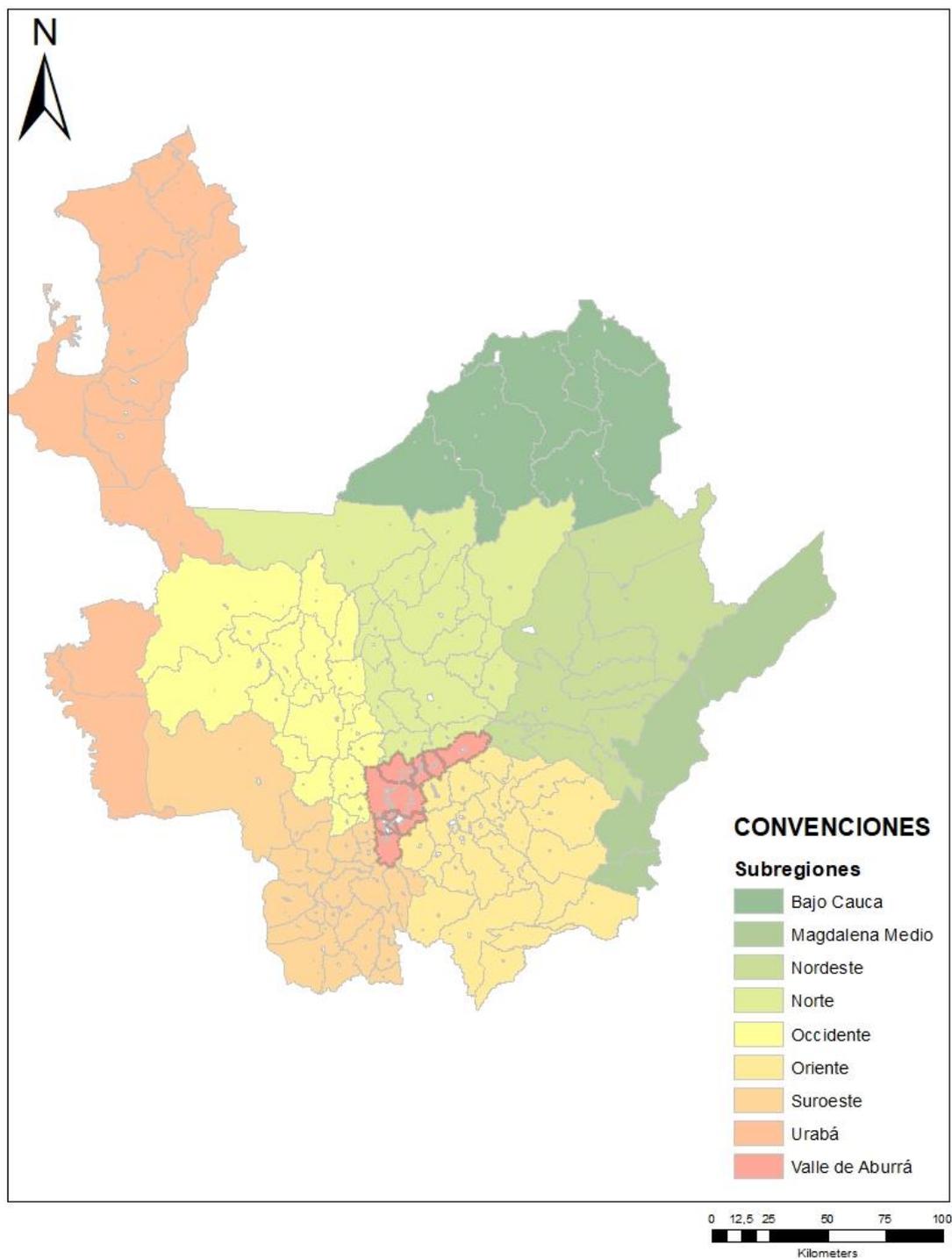
Figura 10 Agrupación de las zonas de Colombia en el estudio de transporte de carga del Área Metropolitana 2018



Fuente: Universidad Nacional de Colombia 2018c

2. **A nivel de Antioquia:** lo divide en 9 orígenes y/o destinos incluyendo el área Metropolitana del Valle de Aburrá.

**Figura 11 Agrupación de las zonas de Antioquia en el estudio de transporte de carga del Área Metropolitana 2018**

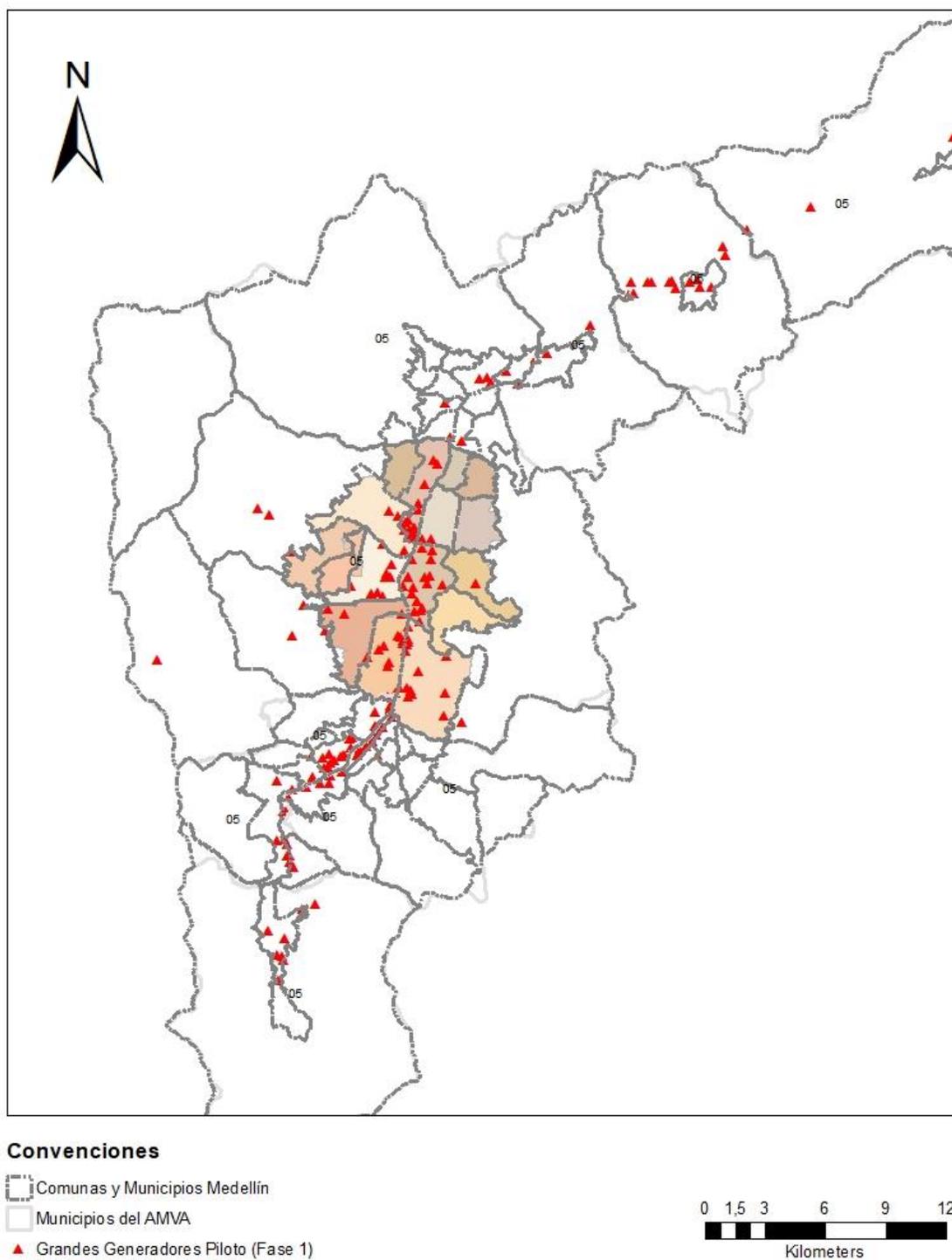


Fuente: Universidad Nacional de Colombia 2018c

En total se realizó un piloto de recolección de información en grandes generadores por toda el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en dos fases. En la primera fase un acercamiento mediante llamadas y cartas, en el segundo una pequeña reunión para coordinar detalles de visitas y entrevista. En la segunda fase del piloto también se llevaron preguntas a los establecimientos sobre cómo funcionaba el proceso de recepción y envío de mercancías. Se hicieron algunos conteos vehiculares para determinar si podían ser clasificados dentro de los grandes generadores de mercancías.

La razón de las dos fases obedece a cuestiones operativas con otras actividades del proyecto y manejo de personal por parte del estudio de carga del 2018 en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Este piloto sirvió para la identificación espacial de los grandes generadores de viajes donde se realizó un primer acercamiento para conocer su actividad y manejo del transporte de mercancías. La Figura 12 muestra los posibles grandes generadores identificados en el piloto de la fase 1.

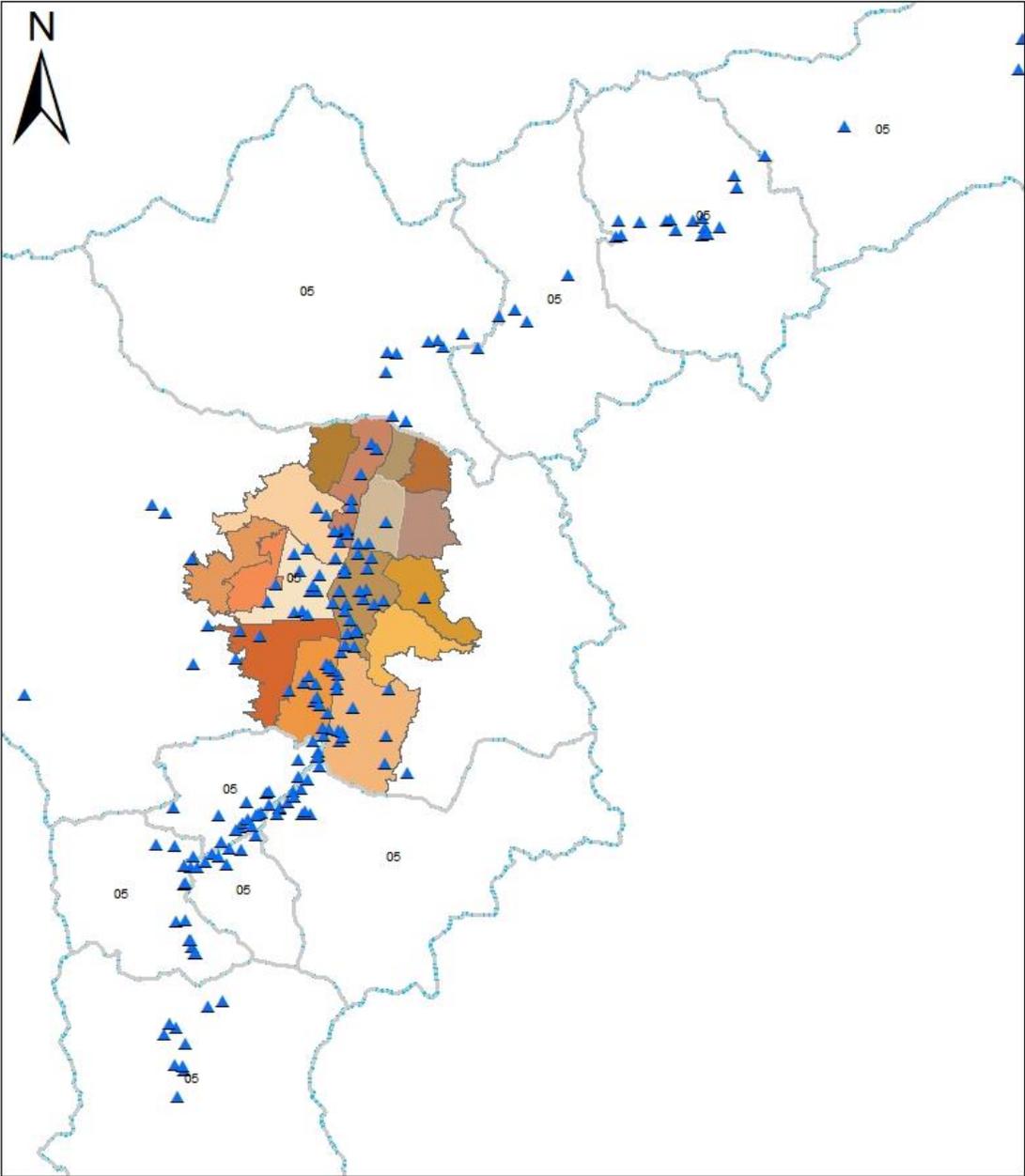
Figura 12. Grandes generadores identificados en el piloto (Fase 1)



Fuente: Elaboración propia

La Figura 13 muestra los puntos dentro del Área Metropolitana del Valle de Aburrá donde se evaluó la existencia de un gran generador en la fase dos del piloto

Figura 13. Grandes generadores identificados en el piloto (Fase 2)



**Convenciones**

- ▲ Grandes Generadores Piloto ( Fase 2)
- ▭ Comunas y Municipios Medellín
- ▭ Municipios del AMVA



Fuente: Elaboración propia

---

### 4.3 Convocatoria para la participación de los grandes generadores

Para vincular a los grandes generadores de viajes, el estudio sobre transporte de Carga del Área Metropolitana 2018 realizó una convocatoria invitando a estos establecimientos mediante carta a participar en el proyecto, así mismo la realización de eventos y/o congresos dieron paso para dar a conocer el proyecto ante posibles empresarios y/o gerentes de estos centros (e.g., Alianza Logística Regional de Antioquia).

La convocatoria a través de invitación se realizó mediante la entrega de cartas, se visitó cada uno de los grandes generadores a los que se les entregó una carta con la información del proyecto. La invitación enviada sirve como ingreso a las instalaciones del gran generador y permitía el acercamiento con el personal logístico o gerente encargado del transporte de mercancías. Dentro de las empresas por lo general existe el operador logístico mientras que en centros comerciales cada establecimiento administra el cargue y descargue de mercancías para suplir la demanda de productos.

También se realizó una convocatoria mediante canales de televisión locales y reunión con los gremios interesados buscando convocar a las grandes empresas. Se programó reuniones donde se explicaba el objeto del estudio, sus alcances y lo que se esperaba encontrar. Algunos de los gremios o empresas que atendieron el llamado se pueden ver en la página web del estudio del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Universidad Nacional de Colombia 2018b) <https://minas.medellin.unal.edu.co/proyectos/estudiocarga-amva/index.php/colaboradores>. En la Figura 14 se puede ver la página web del estudio.

Figura 14. Página web del estudio de transporte de carga en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia 2018b)

#### 4.4 Entrevista a los actores involucrados

Mediante el acercamiento previo y la convocatoria masiva se espera que en un tiempo de 10 a 15 días hábiles los grandes generadores de viajes interesados en el proyecto realicen una vinculación formal al estudio. Inicialmente, se captó la atención de aproximadamente 15 grandes generadores que accedieran a una respectiva visita en sus instalaciones. En este acercamiento se buscaba conocer la dinámica de operación dentro de sus instalaciones, entender los principales problemas que tienen y acercarlos al estudio explicándole los objetivos y el alcance de éste. Una vez realizada la presentación formal del estudio, se realiza una entrevista posterior con una duración entre 20 a 30 minutos en la cual se desarrolló el cuestionario que consta de cuatro partes:

1. **Parte 1.** Relacionado a la información general del establecimiento (e.g., contacto, dirección, teléfono)

2. **Parte 2.** Relacionada a la carga del establecimiento: se describe los orígenes, destinos y tamaño de la carga junto al tipo de vehículo (e.g., ¿de dónde viene el viaje? ¿en qué tipo de vehículo llego? ¿Qué producto era? ¿frecuencia de este viaje?)
3. **Parte 3.** Relacionado a las áreas para la operación del establecimiento (e.g. áreas del establecimiento)
4. **Parte 4.** Relacionado al número de empleados requeridos para la realización de la operación del establecimiento (e.g., ¿cuál es la cantidad de empleados? ¿todos son tiempos totales o hay parcial?)

Si bien el cuestionario buscaba el máximo detalle en las respuestas, al ser la operación de los grandes generadores tan extensa, solo se logra caracterizar variables básicas como empleo, áreas del establecimiento, viajes, productos y edad del establecimiento, además debido a que los gerentes, o gerentes logísticos o personas que respondían la encuesta tenían un tiempo muy limitado o desconocían toda la información. En muchos de los casos la entrevista se desarrolló con varios agentes, i.e., las personas encargadas de la logística, el gerente de producción, el personal de logística de las bodegas. Esta variabilidad de actores en la entrega de información también puede producir una variabilidad de información para una misma pregunta, por lo que el encuestador debe direccionar la pregunta acorde al objetivo (e.g., cuando se pregunta por los viajes del establecimiento se debe anotar que solo se refiere a los viajes de ese establecimiento no a los viajes de la operación debido a otras sucursales en el país del gran generador).

## 4.5 Identificación de la muestra de estudio

El estudio fue de tipo observacional, la población de estudio estuvo constituida por 166 establecimientos que cumplían la característica de tener un número de empleados mayor a 100 y un área que estaba en el 5% de las mayores. La muestra fue obtenida probabilísticamente de acuerdo con el tamaño muestral (ver Ecuación 24).

$$n = \frac{N Z_{\alpha}^2 p q}{d^2(N - 1) + Z_{\alpha}^2 p q}$$

Ecuación 28

donde,

$N$  = Total de la población (166 establecimientos identificados como posibles LTFG)

$Z_{\alpha} = 1.96$  (para una confiabilidad del 95%)

$p$  = proporción esperada (en este caso 0.5) poniéndonos en el caso de varianza máxima

$q = 1 - p$  (en este caso  $1 - 0.5 = 0.5$ )

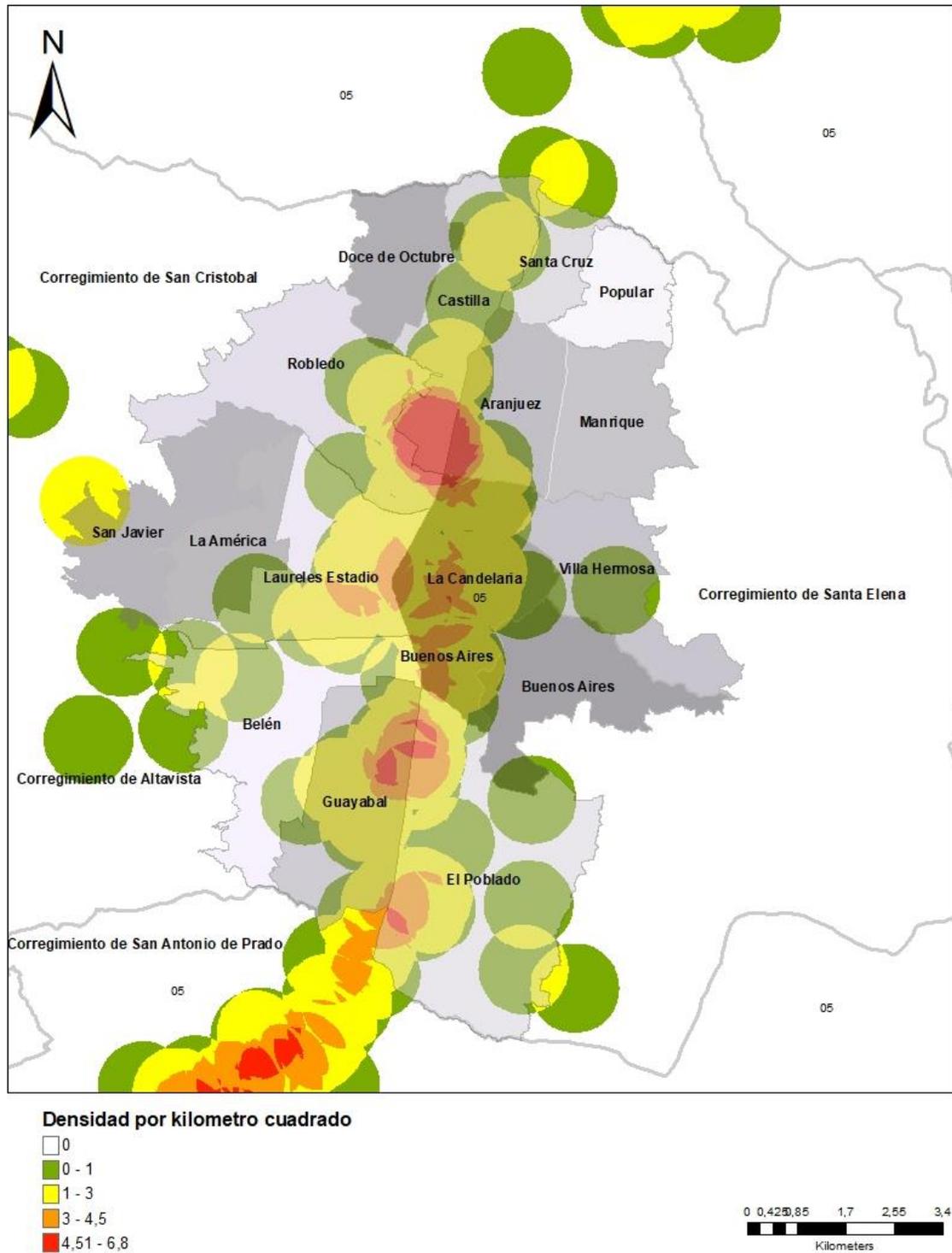
$d$  = precisión (se usa un 10% de precisión)

El cálculo de encuestas necesarias para una población finita es de  $n = 48$  **encuestas a grandes generadores.**

**Anotaciones en la elección de aleatoriedad:** se envió mediante carta a toda la población de estudio y se trabajó con las empresas que respondieron. Esto debido a que los elementos de la población a evaluar no siempre contestaron la encuesta. No hay control por parte de los investigadores y por lo tanto se generan datos aleatorios al no tener un control sobre todo o una parte del muestreo.

La Figura 15 muestra un mapa de densidad de todos los establecimientos considerados su ubicación espacial para el caso del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, donde se observa que en el caso del área metropolitana existe concentración de alrededor de 4.5 a 6.8 de estos centros por  $\text{km}^2$  alrededor del eje estructurante de la movilidad ,i.e., el corredor del río. Todos estos establecimientos forman parte del universo del caso de estudio

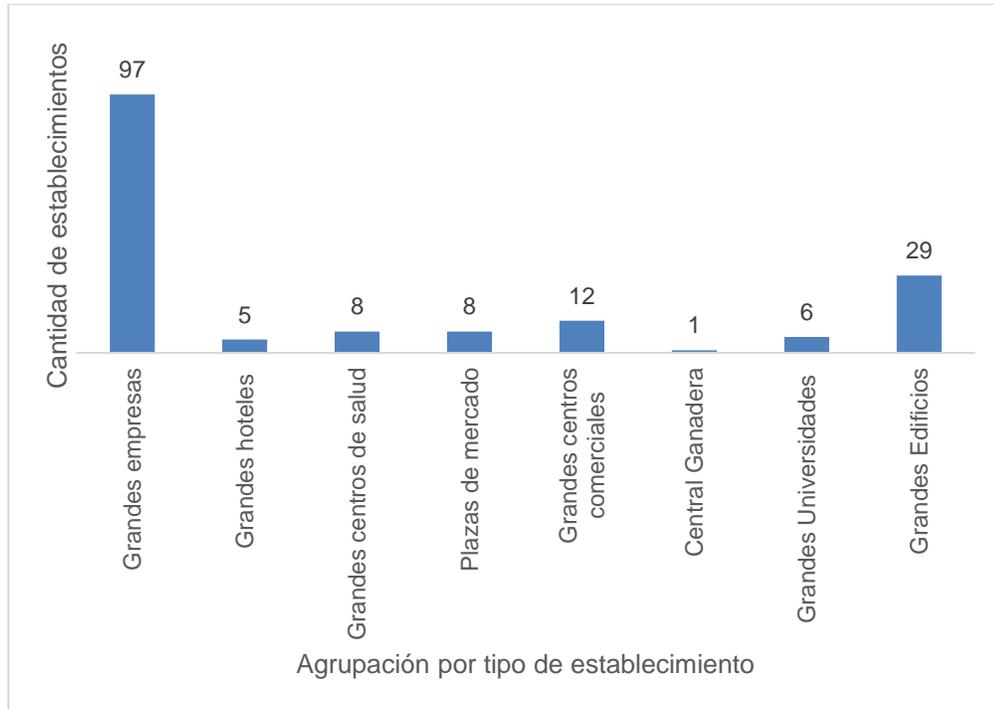
Figura 15. Concentración de grandes generadores localizados espacialmente en el Municipio de Medellín



Fuente: Elaboración propia

La clasificación de estos centros generadores en categorías específicas obedece al interés de la investigación de enfocarse hacia grandes generadores que se puedan encontrar en una ciudad e.g., un gran hotel, en la Figura 16 se observa la cantidad de cada uno de estos establecimientos agrupados dentro de la categoría de interés.

Figura 16. Grandes generadores identificados y evaluados en la muestra



Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2018

Como se observa en esta agrupación, los posibles principales grandes generadores de mercancías son empresas que distribuyen al interior del área metropolitana del Valle de Aburrá, seguido de esto están grandes edificios los cuales refieren a puntos de referencia en la ciudad como bancos, edificios administrativos etc. También están los centros comerciales que refieren a una agrupación de establecimientos similar a lo que ocurre en plazas de mercado.

Para el análisis de plazas de mercado, se realizaron dos estudios complementarios que consistieron en la estimación de una muestra para cada plaza de mercado y de esta manera lograr expandir las muestras a la población de estudio, i.e., todos los establecimientos de las plazas de mercado.

## 4.6 Agrupación de grandes generadores por unidades de estudio

Debido a que la sectorización del CIU puede no mostrar claramente la actividad de grandes centros en la ciudad como puntos de referencia—incluso un establecimiento podía contener una gran cantidad de establecimientos—se tomó la decisión de dividirlo por distintos tipos de establecimientos (e.g., grandes hoteles, grandes empresas). El resultado se muestra en la Tabla 6 que agrupa la división de grandes generadores y el número total de encuestas que le corresponden con base en la muestra. Conocer la población de estudio y la muestra ayuda a la estimación de los factores de expansión para determinar la cantidad de viajes que se esperan realizan los grandes generadores en las ciudades. El factor de expansión no es más que la división entre el número de total de elemento que conforman la población sobre los elementos evaluados.

**Tabla 6. División de la muestra estadística.**

<b>Tipo de Gran Generador</b>	<b>Universo</b>	<b>Muestra Requerida</b>	<b>Muestra Real</b>
Grandes empresas	97	28	30
Grandes Hoteles	5	1	2
Grandes centros de Salud	8	2	5
Plazas de Mercado	8	2	4
Grandes Centros Comerciales	12	4	11
Central Ganadera	1	0	1
Grandes Universidades	6	2	3
Grandes Edificios	29	8	14
<b>Total</b>	<b>166</b>	<b>48</b>	<b>70</b>

**Fuente:** Universidad Nacional de Colombia, 2018

\*\* El total de establecimientos enumerados en esta tabla no toma en consideración la central mayorista y minorista dentro de las cuales se realizó encuestas a los establecimientos internos debido a que están en otra base de datos.

Como se observa, se tomaron 22 establecimientos más que los que requería la muestra; la cual establece un valor total de 48 establecimientos debido a que inicialmente se observó demasiada variabilidad en algunas agrupaciones de grandes generadores. Se debe tener en cuenta que se buscó evaluar más establecimientos para tener una

confiabilidad más alta, pero fue imposible obtener más información debido a que varias empresas no colaboraron en el estudio al no querer compartir información.

## 4.7 Base de datos del estudio

Con base en la encuesta de carga del 2018 del AMVA se elaboran dos bases de datos de corte transversal (i.e., que se tomó la información de una empresa una sola vez durante el estudio), las cuales se describen a continuación:

1. **BD\_GG:** se encuentran los datos de todos los grandes generadores evaluados para 6 tipos de grandes generadores: grandes hospitales, grandes centros comerciales, grandes empresas, grandes edificios, grandes universidades, y grandes hoteles que tuvo acceso el estudio sobre transporte de carga del AMVA del año 2018. La base de datos recopila 2477 registros de viajes en grandes generadores con 60 columnas con información que permite caracterizar cada uno de los viajes. Las variables más relevantes encontradas en la base de datos se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7 Variables encontradas en la base de datos de GG**

<i>Variable</i>	<i>Descripción de la variable</i>
<b>Uso del Suelo</b>	Variable que muestra el uso de suelo donde se generan los viajes de los distintos generadores. Si responden a un uso de suelo residencial, industrial, mixto.
<b>Años ubicado en este lugar</b>	Número de años que el gran generador desempeña su actividad en ese sitio.
<b>Cuál es el horario típico de trabajo de lunes a viernes</b>	Horario durante el cual el gran generador desarrolla su actividad en día típico
<b>Cuál es el horario típico de trabajo los domingos</b>	Horario durante el cual el gran generador desarrolla su actividad en día no típico
<b>Cuál es el horario típico de cargue</b>	Horario en el cual el gran generador desarrolla su actividad de cargue
<b>Cuál es el horario típico de descargue</b>	Horario en el cual el gran generador desarrolla su actividad de descargue
<b>Comparte Local</b>	Establece si el gran generador se encuentra distante a otros generadores o por el contrario se encuentra en interacción con otros generadores
<b>En bahía de carga, cargue y descargue en la calle, parqueadero propio, parqueadero cercano, sobre el andén, sobre el antejardín sin ocupar anden</b>	Lugar donde el gran generador carga o descarga sus viajes
<b>Origen Nombre</b>	Origen de donde proviene el viaje (en caso de recibir)
<b>Destino Nombre</b>	Destino hacia donde se dirige el viaje (en caso de enviar)
<b>Vehículo</b>	Tipo de vehículo en que se registró el viaje en el gran generador
<b>Peso (Kg) / viaje</b>	La cantidad (en kg/viaje) que supone ese viaje
<b>Frecuencia</b>	La frecuencia de ese tipo de viajes que genera el gran generador e. g., día, semana, mes.
<b>Total, viajes llevados a día</b>	Frecuencia de los viajes llevados a día como unidad de análisis de viajes
<b>FE</b>	Valor de expansión de carga o viajes con base al tipo de establecimientos
<b>Viajes Día Expandida (viajes)</b>	Expansión de viajes de ese gran generador
<b>Expansión Día Carga (KG)</b>	Expansión de carga de ese gran generador en kilogramos

**Fuente:** Universidad Nacional de Colombia, 2018c

- BD\_plazas:** se encuentran los datos de los establecimientos evaluados para grandes plazas de mercado. Esta base de datos recopila una encuesta de establecimientos realizada al interior de dos grandes plazas de mercado, la Central Mayorista de Antioquia y la Central Minorista. Esta información, se configuró en otra base de datos debido a que está basada en la encuesta a establecimientos comerciales, ver Tabla 8.

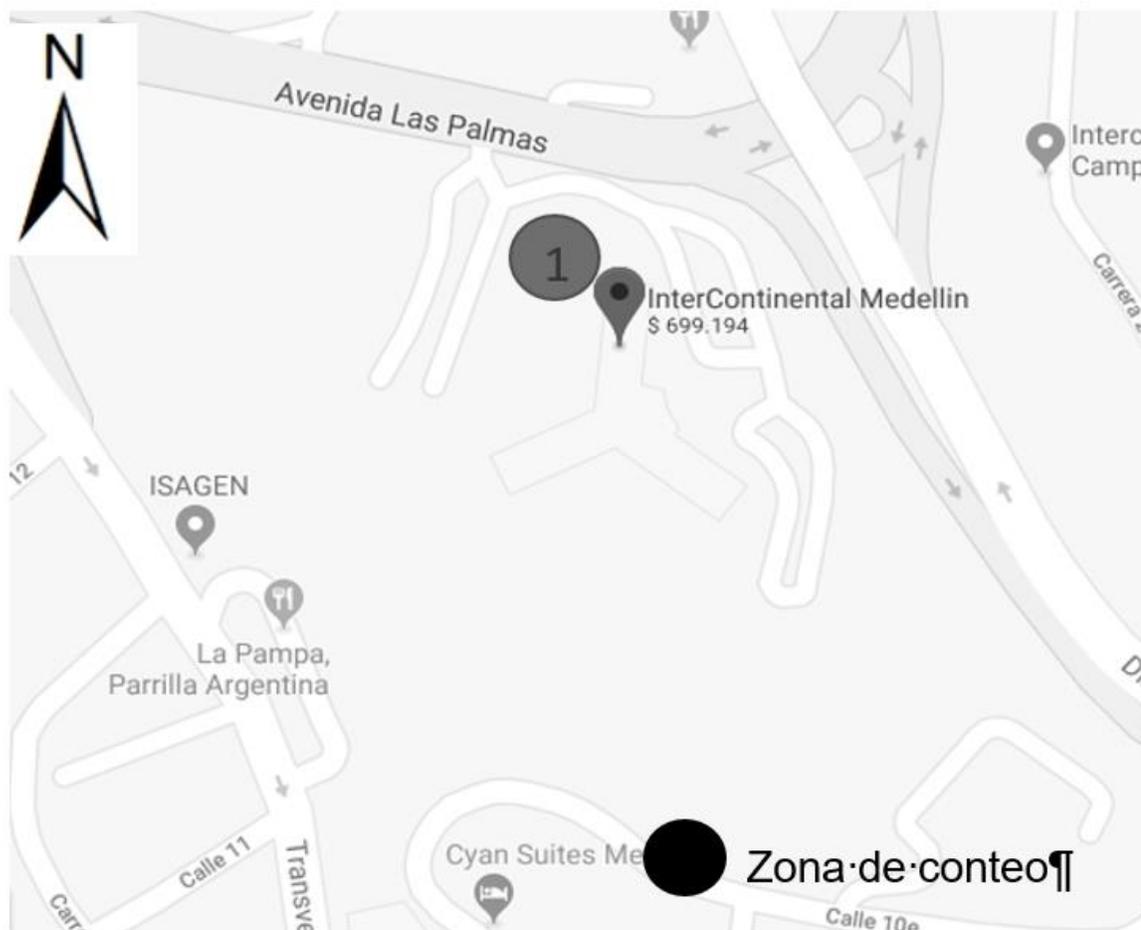
**Tabla 8 Variables encontradas en la base de datos de BD\_ plazas**

<b>Grupo CIUU</b>	<b>Refiere al grupo CIUU del establecimiento comercial</b>
<b>Sucursales Tiene</b>	Número de sucursales con las que cuenta el establecimiento
<b>Es principal</b>	El establecimiento es principal o no
<b>ROL Generador</b>	Es principalmente generador
<b>ROL Recetor</b>	Es principalmente receptor
<b>ROL Transportador</b>	Es principalmente transportador
<b>Abierto</b>	Hora en que el establecimiento abre típicamente lunes a viernes
<b>Producto</b>	Tipo de producto registrado en el viaje
<b>CSTG</b>	Código de clasificación del producto " <i>Commodity Flow Survey Standard Classification of Transported Goods (SCTG)</i> "
<b>Origen Destino</b>	Origen del viaje del registro
<b>Destino</b>	Destino del viaje del registro
<b>Tipo Vehículo</b>	Tipo de vehículo en el que se realizó ese viaje (e.g., moto, carro)
<b>TpedidoCantidad</b>	Cantidad del producto
<b>PesoKgU</b>	Peso del producto en Kg
<b>Freq</b>	Frecuencia del viaje de este producto
<b>FE viajes</b>	Factor de expansión de los viajes por día
<b>Viajes Día</b>	Viajes expandidos
<b>C y Cm (Factores de expansión)</b>	Factores de expansión de los viajes
<b>FE Carga</b>	Factores de expansión de la carga
<b>Carga_exp (Kg)</b>	Carga expandida de los establecimientos

**Fuente:** Universidad Nacional de Colombia, 2018c

Por otra parte, se realizaron conteos vehiculares de más de 20 establecimientos comerciales para determinar la atracción y producción de viajes de mercancías y complementar información para la estimación de los modelos. Para ello se identificaron algunos grandes generadores (e.g., centros comerciales, hoteles) para realizar el conteo en el horario en que arribaban/partían los camiones al establecimiento. La Figura 17 muestra un ejemplo de un conteo realizado en el Hotel Intercontinental en la ciudad de Medellín para un horario entre las 05:30 y las 14:00. El formato de conteo contiene el número de registro, el tipo de vehículo, el nombre del aforador, la hora en que arribo el vehículo y la placa para evitar contar dos veces el mismo vehículo en caso de que se agrupen varios a la vez

Figura 17 Ejemplo de localización de conteos vehiculares en un gran generador de viajes



Fuente: Google Maps, 2018

## 4.8 Naturaleza de los datos y análisis de los datos encontrados

La base de datos responde a observaciones de viajes en un establecimiento y a las características necesarias para su operación sin tener en cuenta su variabilidad a lo largo del tiempo, por ello su naturaleza es de una base de datos de corte tipo transversal. Para el caso de los grandes generadores la demanda de viajes de mercancía está influenciada por la cantidad de demanda de mercancías que obedece a la actividad económica que desarrollan, explicada mediante variables de carácter económico como empleo, cantidad de compradores, número de áreas útiles, tipo de usuarios (e.g., estudiantes,

compradores). Además, los procesos logísticos que generan la distribución de estas mercancías (e.g., horarios de entrega, tamaño del producto, tipo de vehículo).

Para el caso de los grandes generadores como conjunto de establecimientos se tiene un promedio esperado de 83.8 viajes en un día típico del establecimiento con un porcentaje de carga al día evaluada en 282 toneladas; esta mercancía hace referencia a atracción y producción de viajes, la desviación estándar para el caso de los viajes es de 109 viajes/día y para el caso de las toneladas la variación ronda las 571 toneladas con respecto a la media como valor central (Universidad Nacional de Colombia 2018b). La Tabla 9 resume los resultados obtenidos.

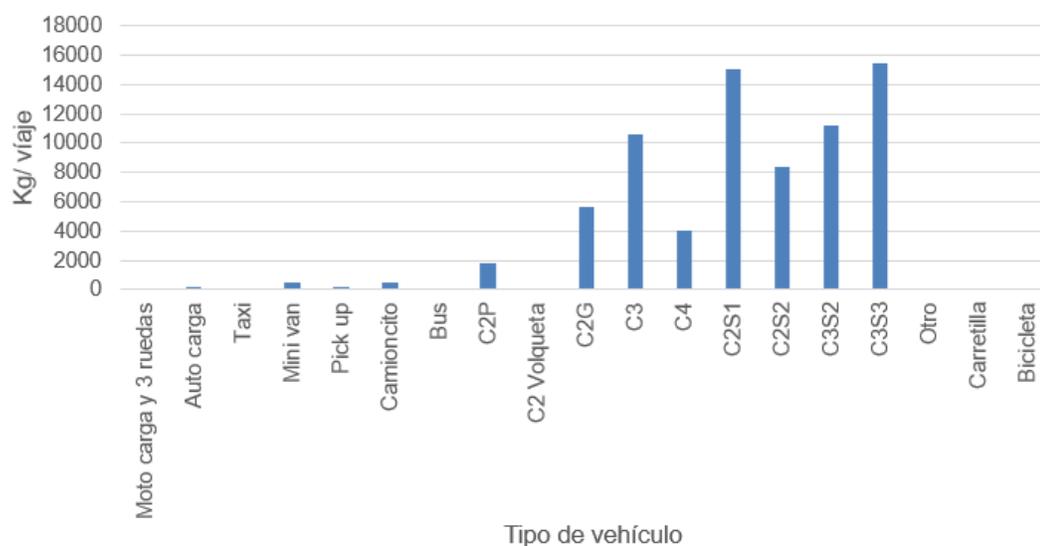
**Tabla 9. Estadísticos descriptivos de la variación de viajes y carga de los grandes generadores sin expansión**

<b>ESTADÍSTICOS</b>	<b>VIAJES/DÍA</b>	<b>CARGA/DÍA (KG)</b>
<b>MEDIA</b>	83.81	282.254
<b>MEDIANA</b>	43.25	32.728
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	109.17	571.487
<b>MÍNIMO</b>	0.538	0.670
<b>MÁXIMO</b>	606.23	3388.000
<b>SUMA</b>	5699.28	19193.329
<b>DATOS</b>	68	68

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2018c

La Figura 18 muestra la información de los kilogramos por cada viaje que llevan en promedio los distintos vehículos de mercancías de los grandes generadores entrevistados sin incluir las plazas de mercado. Para el caso de estudio, se encontró que el tipo de camión C2P lleva un promedio de 2 toneladas de carga, el C2G lleva un promedio de 6 toneladas y el C3S3 lleva un promedio de 13 toneladas. Cabe anotar, que los vehículos de mayor capacidad no parecen cargar el peso máximo esperado. Sin embargo, esto se debe a que dentro de los sectores de las centrales de abasto el viaje de un establecimiento puede ser la consecuencia de un tour interno dentro del mismo establecimiento. Los datos que se reportan refieren a registros donde no se obtuvo información.

**Figura 18. Kilogramos por viaje por tipo de vehículo en un día para grandes generadores**



**Fuente:** Elaboración propia con base en la información de Universidad Nacional de Colombia, 2018c

La Tabla 10 muestra por su parte los viajes y carga (kg) generados por distintos sectores económicos de los grandes generadores. Con base en la información, el sector que más carga produce al día es el sector manufacturero con un 70.6 % del total seguido del comercio y reparación de vehículos con un 20.5 %, por su parte los viajes que se generan para el código de manufactura son aproximadamente 4000 viajes con un promedio de 10.2 toneladas por viaje, por su parte el sector de comercio y reparación de vehículos muestra un total de 4940 viajes con un promedio menos de relación entre la carga y los viajes con un promedio de 2.4 ton/viaje día.

Tabla 10. Viajes y carga (Kg) por tipo de CIU para grandes generadores

TIPO CIU	CÓDIGO CIU	VIAJES/DÍA (No)	CARGA/DÍA (KG)	KG/VIAJE (/VEH)	VIAJES/DÍA (%)	CARGA/DÍA (%)
MANUFACTURA	C	3998.6	40837.5322	10.213	28.5	70.6
AGUAS Y SANEAMIENTO	E	500.6	1001.190	2.000	3.6	1.7
COMERCIO Y REPARACIÓN VEHÍCULOS	G	4940.4	11877.096	2.404	35.2	20.5
HTRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO	H	2325.4	3510578.5	1.510	16.6	6.1
ALOJAMIENTO Y ALIMENTACIÓN	I	70.2	47.278	0.673	0.5	0.1
FINANZAS Y SEGUROS	K	211.6	25.016	0.118	1.5	0.0
ACTIVIDADES DE SERVICIOS	N	559.3	136.155	0.243	4.0	0.2
ADMÓN. PÚBLICA, DEFENSA	O	221.1	109.413	0.495	1.6	0.2
EDUCACIÓN	P	771.5	132.419	0.172	5.5	0.2
ATENCIÓN MÉDICA Y SOCIAL	Q	397.7	118.0754	296.9	2.8	0.2
OTRAS ACTIVIDADES DE SERVICIO	S	50.9	23.202	455.5	0.4	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>14047.3</b>	<b>57817955.6</b>	<b>4115.9</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Elaboración propia con base en la información de Universidad Nacional de Colombia, 2018c

### Plazas de mercado

La Tabla 11 presenta dos descripciones estadísticas de las variables de viajes y carga de los establecimientos de la Central Mayorista y Minorista de Antioquia donde se obtiene la media de los viajes que llegan al establecimiento.

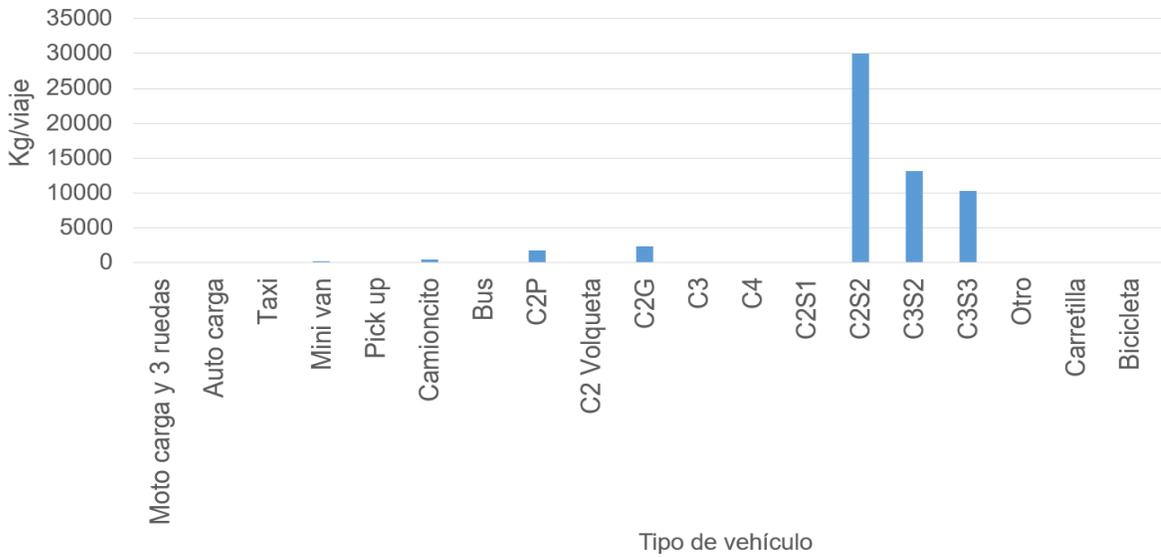
**Tabla 11. Estadísticos descriptivos de la base de datos de plazas de mercado no expandidos**

<b>ESTADÍSTICO</b>	<b>VIAJES/DÍA</b>	<b>CARGA/DÍA (TON)</b>
<b>MEDIA</b>	1.7	4.184
<b>MEDIANA</b>	1.0	0.638
<b>MODA</b>	0.7	1.000
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	1.8	11.414
<b>CURTOSIS</b>	7.1	0.072
<b>MÍNIMO</b>	0.04	0.0003
<b>MÁXIMO</b>	11.2	128.00
<b>SUMA</b>	340.0	824.343
<b>DATOS</b>	197	197

**Fuente:** Elaboración propia con base en la información de Universidad Nacional de Colombia, 2018c

Los datos encontrados muestran que la media de los viajes mes que se generan en las plazas minorista y mayorista es de 1.7 viajes por día, con un promedio de 4.2 toneladas por viajes para los establecimientos. La desviación estándar como medida de dispersión de los datos alrededor de la media muestra 1.8 los viajes/día y para la carga un valor de 11 toneladas. La suma de los viajes de un día típico de los establecimientos evaluados es de 340 viajes para un total de 824 toneladas movidas. El valor mínimo de los viajes refiere a una unidad menor a 1, lo que significa que la frecuencia del establecimiento es mensual o semanal, este puede ser el caso de quienes comercializan con hierbas o pequeños productos dentro de estas grandes plazas; por su parte el valor máximo se sitúa en 11 viajes/día. Para el caso de la carga (Ton) el menor reporte tiene un valor de 0.3 kg y un valor máximo de 128 toneladas por establecimiento. La Figura 19 muestra el promedio del peso que lleva cada tipo de vehículo por viaje con base en la información recolectada en campo se vendía en el C2P un valor entre 2 y 3 toneladas y para el C2S2 un valor esperado de 30 toneladas, el C3S3 muestra por su parte un valor mucho inferior al peso real, esto puede ser consecuencia de los pocos datos que se tienen para este tipo de vehículos en los registros puesto que su capacidad rodea las 32 toneladas, los datos que se reportan en cero fue porque no se obtuvo registro de este vehículo.

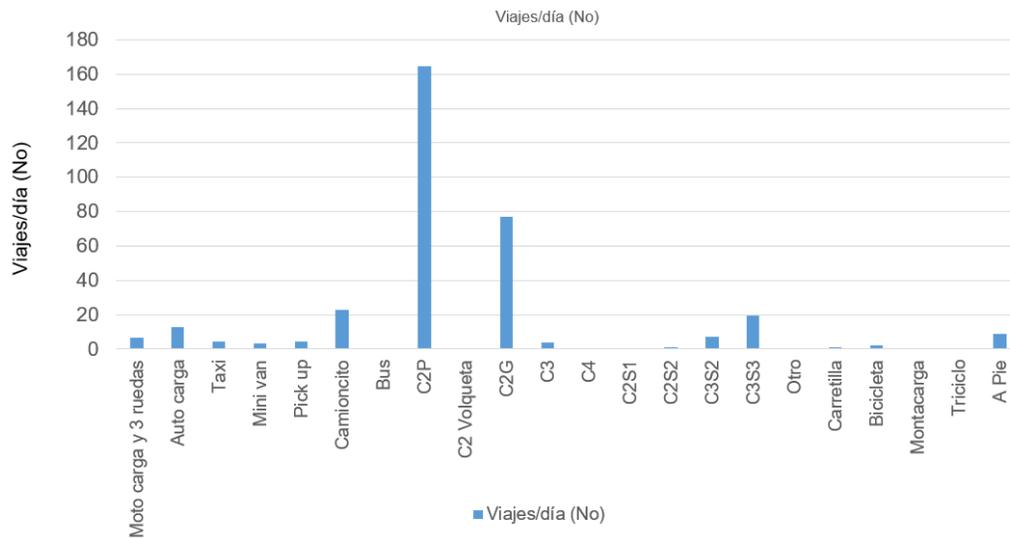
Figura 19. Kilogramos por viaje en un día típico por tipo de vehículo para plazas de mercado



**Fuente:** Elaboración propia con base en la información de Universidad Nacional de Colombia, 2018c

La Figura 20 muestra los viajes día por tipo de vehículo encontrados en plazas de mercado, donde se evidencia que la mayor frecuencia la tienen los vehículos C2P con 160 viajes registrados, seguido del C2G con un estimado de aproximadamente 75 viajes día, los datos que se reportan en cero fue porque no se obtuvo registro de este vehículo.

**Figura 20. Viajes día por tipo de vehículo para central mayorista y minorista sin expansión**



**Fuente:** Elaboración propia con base en la información de Universidad Nacional de Colombia, 2018c

Analizando la información arrojada para las encuestas a establecimientos realizadas para las centrales de abasto por actividad económica se obtiene que el sector relacionado al comercio al por mayor y reparación de vehículos produce el 89.9% de los viajes/día con un 93.4% de la carga al día. Esto se puede observar en la Tabla 12.

Tabla 12. Viajes y carga (Kg) por tipo de CIU para plazas de mercado

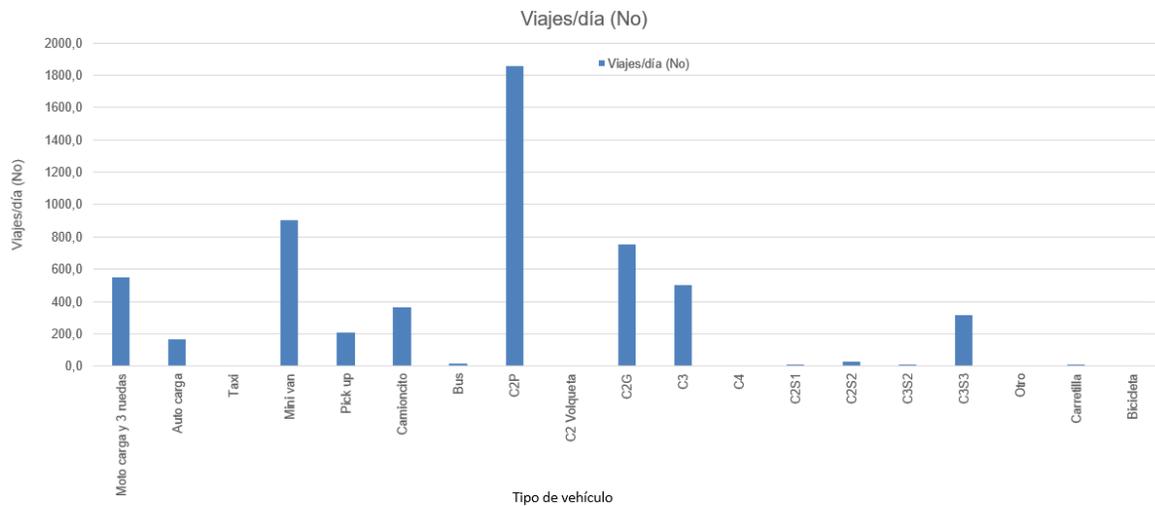
TIPO CIU	CÓDIGO	VIAJES/DÍA	CARGA/DÍA	KG/VIAJE	VIAJES/DÍA	CARGA/DÍA
		(No)	(KG)		(%)	(%)
MANUFACTURA	C	14.9	53.886	3.608	4.4	6.5
COMERCIO AL POR MAYOT Y REPARACIÓN VEHÍCULOS	G	305.5	769.835	2.520	89.9	93.4
ALOJAMIENTO Y ALIMENTACIÓN	I	17.2	0.611	0.036	5.0	0.1
FINANZAS Y SEGUROS	K	1.0	0.0008	0.0008	0.3	0.0
INMOBILIARIA	L	0.1	0.0027	0.035	0.0	0.0
ATENCIÓN MEDICA Y SOCIAL	Q	0.9	0.0034	0.0038	0.3	0.0
OTRAS ACTIVIDADES DE SERVICIO	S	0.4	0.0053	0.0129	0.1	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>340.0</b>	<b>824.343</b>	<b>2.424</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	

Fuente: Elaboración propia con base en la información de Universidad Nacional de Colombia, 2018c

### Datos de los grandes generadores

La Figura 21 representa los viajes día que se mueven en los 166 grandes generadores evaluados. Aquí se observa que el vehículo C2P es el más utilizado con 1800 viajes seguido del miniván con 800 viajes y el C2G con más de 700 viajes. Los datos que se reportan en cero fueron porque no se obtuvo registro de este vehículo.

**Figura 21. Viajes día por tipo de vehículo para los grandes generadores sin expansión**



**Fuente:** Elaboración propia con base en la información de Universidad Nacional de Colombia, 2018c

La Tabla 13 muestra la estadística descriptiva de los viajes y la carga (kg) para los 7 tipos de grandes establecimientos analizados en el estudio de transporte de carga del Área Metropolitana del Valle de Aburrá del año 2018 (plazas de mercado, edificios, empresas, hospitales, hoteles, universidades y centros comerciales). El estudio arrojó que la media de los viajes generados por las universidades son 129 viajes por día, los viajes generados por plazas de mercado en comunas 117 viajes por día (estas plazas de mercado no corresponden a las centrales mayoristas de abasto del área metropolitana para las que se cuenta con una base de datos distinta); seguidos por empresas y centros comerciales con 93 viajes por día y 90 viajes por día respectivamente. Los edificios de interés, hospitales y hoteles generaron a su vez 64 viajes por día, 50 viajes por día y 14 viajes por día respectivamente durante un día típico.

Tabla 13. Descripción estadística por tipo de establecimiento considerado en el estudio de transporte de carga

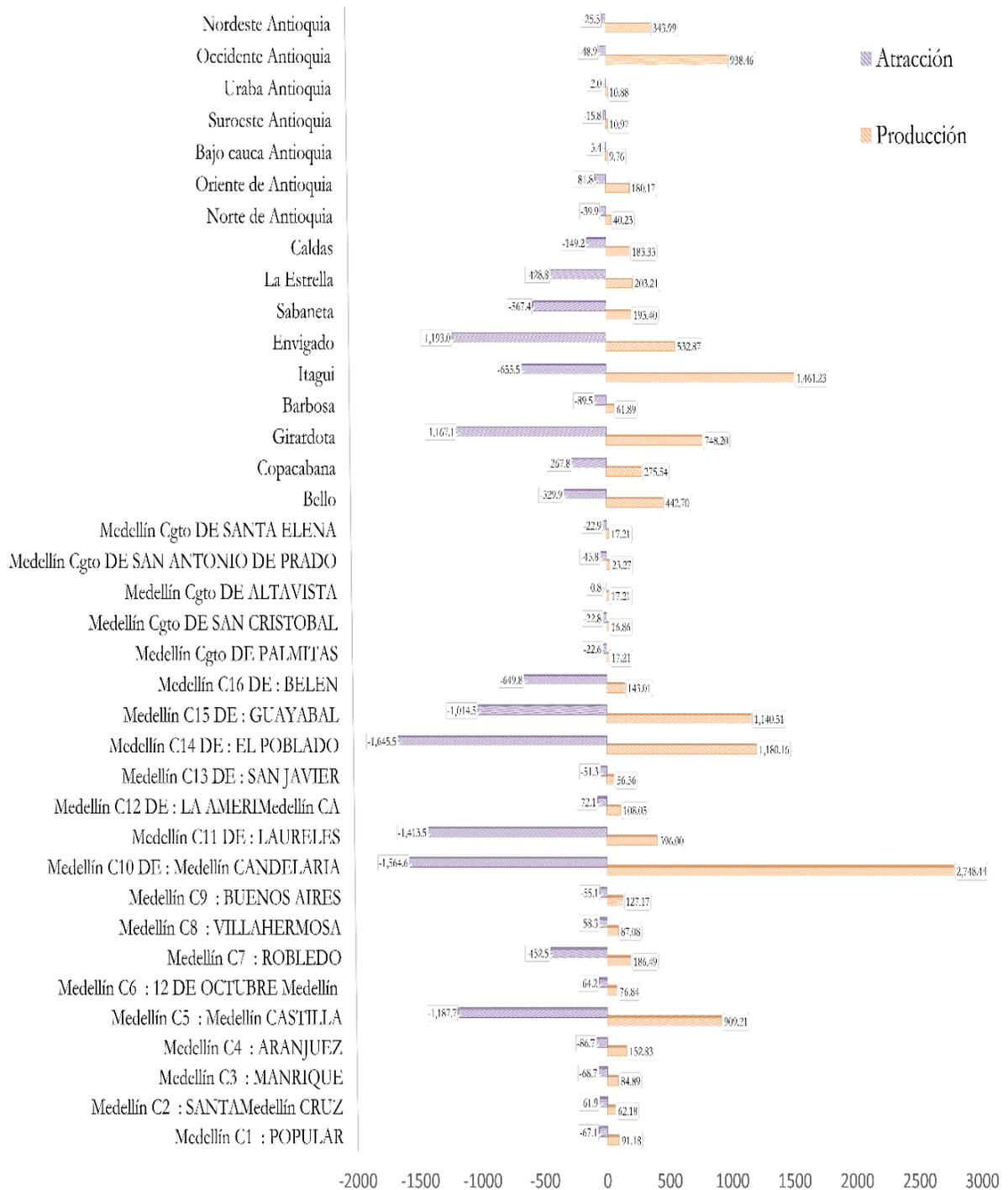
	Universidades		Hoteles		Empresas		Hospitales		Centros Comerciales		Edificios de interés		Plazas de mercado	
	Viajes /Día	Carga (kg/día)	Viajes /Día	Carga (kg/día)	Viajes /Día	Carga (kg/día)	Viajes /Día	Carga (kg/día)	Viajes /Día	Carga (kg/día)	Viajes /Día	Carga (kg/día)	Viajes /Día	Carga (kg/día)
<b>Media</b>	128.6	22.07	14.0	9.45	93.4	521.68	49.71	14.759	90.2	59.04	63.7	46.88	116.8	692.72
<b>Mediana</b>	145.0	24.79	14.0	9.45	33.0	184.90	58.00	12.910	80.0	17.98	12.3	9.61	144.7	548.88
<b>Desviación estándar</b>	102.6	8.45	1.6	11.54	138.6	747.57	37.19	10.213	72.1	75.34	91.8	126.69	98.5	758.38
<b>Mínimo</b>	18.7	12.59	12.9	1.292	4.5	1.39	6.00	3.150	9.4	4.79	0.5	0.67	7.3	16.56
<b>Máximo</b>	222.0	28.83	15.2	17.62	606.2	3388.00	88.50	31.216	285.0	241.22	270.0	483.33	198.3	1512.76
<b>Suma</b>	385.7	66.21	28.1	18.91	2802.0	15650.42	248.56	73.797	992.4	649.48	892.3	656.35	350.3	2078.17
<b>Total de datos</b>	3		2		30		5		11		14		3	

\*\*No incluye central mayorista y central minorista

**Fuente:** Elaboración propia con base en la información de Universidad Nacional de Colombia,2018c

Por otra parte, los datos muestran una alta variabilidad, esto debido a que la información fue recopilada a manera de entrevista principalmente donde el agente que responde la encuesta puede sesgar parte de la información por desconocimiento o por reserva. Por otra parte, los viajes atraídos y producidos de mercancías para el área de estudio con base en la información recopilada en el estudio de transporte de carga 2018 se muestran en la Figura 22 donde se observa que la comuna La Candelaria de Medellín es la que más produce viajes de mercancías con un valor de 2748 viajes/día de mercancías y la Comuna de Medellín que más atrae es el sector de El Poblado con 1645 viajes/día. A su vez, los corregimientos de Medellín atraen y producen pocos viajes de mercancías con valores inferiores a 30. Por su parte el occidente de Antioquia es la región que más viajes produce con un estimado de 938 viajes/día.

Figura 22. Atracción y producción de viajes/día en las distintas zonas de estudio.



Fuente: Elaboración propia con base en la información de Universidad Nacional de Colombia, 2018c

## 4.9 Aplicación de la modelación de producción y atracción de viajes de mercancías para grandes generadores urbanos

A partir de la información base recopilada en el estudio de transporte de carga del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se realiza una estimación de la cantidad de viajes de carga con base en la cantidad de establecimientos encuestados y aforados para estimar distintos modelos de producción y atracción de viajes en grandes establecimientos. Se estimaron modelos a partir de la información de grandes edificios, grandes empresas, grandes hoteles, grandes centros comerciales, grandes hospitales, grandes plazas de mercado y grandes universidades. Los modelos se estiman mediante el uso de un software estadístico donde se evalúan la robustez del modelo y la significancia de las variables explicativa para la producción y atracción de viajes de carga (donde aplica).

En los modelos lineales se analizaron las variables área del piso y empleo total, las cuales se han encontrado significativas en otros estudios como Holguín-Veras et al. (2017). Para explicar la generación de viajes para los grandes generadores de viajes de carga mencionados se utiliza el método de regresión lineal. La constante del modelo de regresión no es evaluada debido a la posibilidad de tener viajes negativos. Para los modelos elaborados se tomó como variable dependiente la cantidad de viajes generados y como independiente las variables área de piso y empleo total. En las universidades se estimaron modelos lineales con la variable independiente número de estudiantes, en los hoteles con la variable independiente número de habitaciones, en los hospitales con la variable independiente cantidad de camas, todas ellas refieren a la capacidad que tienen establecida para atender su oferta de servicios enfocada al transporte de carga.

La modelación no lineal se realizó para los casos de estudio para los centros comerciales, grandes empresas, grandes universidades, grandes hoteles, grandes hospitales, grandes edificios y dos grandes plazas de mercado para observar el comportamiento y significancia de las variables cuando una de sus variables se ve parametrizada a través de logaritmos naturales. Se evalúan y comparan modelos lineales y no lineales (ln – ln, ln – Lin, Lin-ln). A continuación, se muestra la modelación para cada tipo de gran generador de viajes de carga.

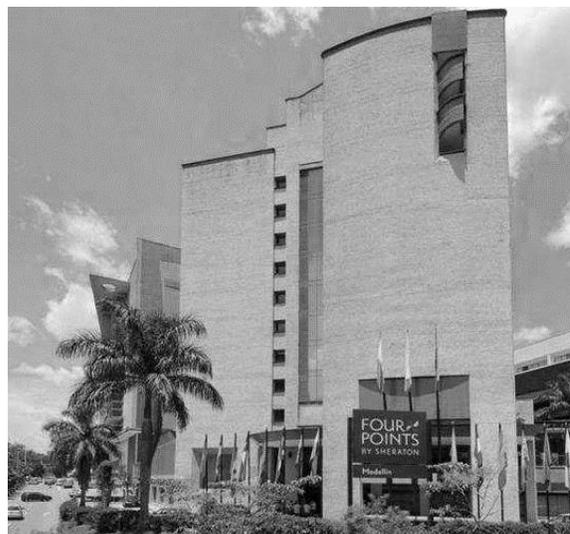
### 4.9.1 Grandes hoteles

Los grandes hoteles en zonas urbanas atraen una gran cantidad de viajes debido a que son albergue de personas que tienen necesidades de alimento y confort, y que por tanto demandan viajes de productos y servicios. Estos insumos llegan a los hoteles provenientes principalmente de sectores mayoristas para el surtido de alimentos para las despensas y muebles (e.g., colchones) y en una menor proporción llega proveniente de locales que distribuyen al por menor, geográficamente llegan principalmente del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, aunque también pueden llegar de otras regiones del departamento y país. La Figura 23 muestra dos hoteles tomados como referente de grandes generadores de viajes en el AMVA que cumplen con la condición establecida de más de 20 viajes de carga/día por ser considerados grandes generadores de viajes de carga.

**Figura 23. Ejemplo de Hoteles referentes como grandes generadores de viajes de carga *Hotel intercontinental* y *Hotel Four Points***



Con 40 años de historia, el hotel intercontinental es un lugar emblemático de la ciudad. Hace parte de la Cadena Hoteles “*Movich Hotels*”



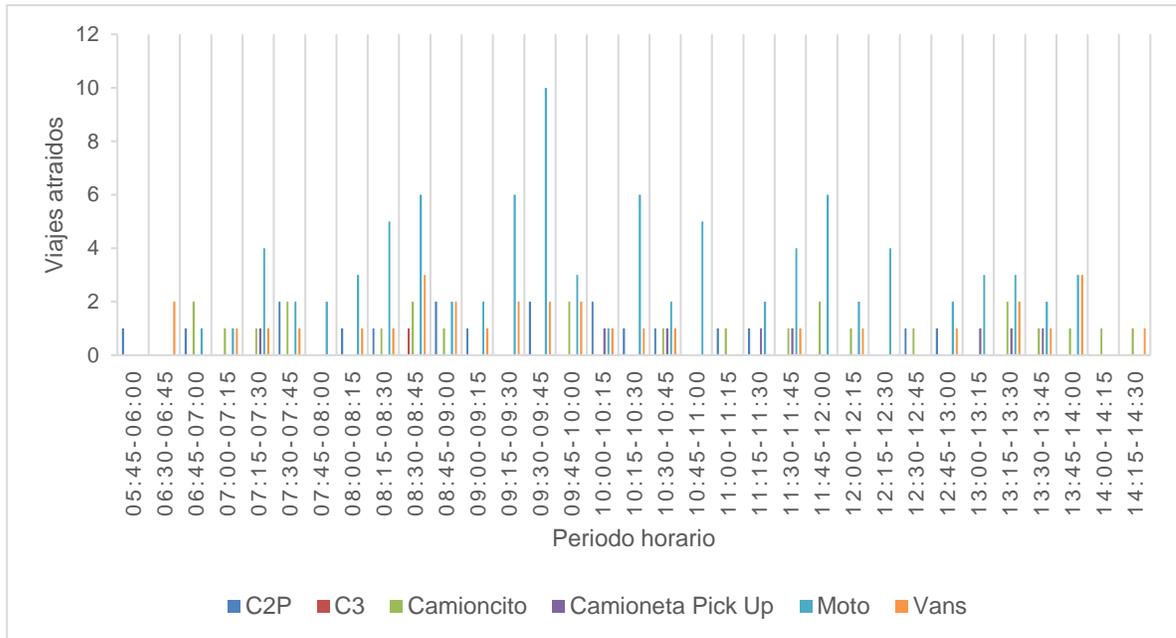
Ubicado en el sector turístico de El Poblado, el Hotel *Four Points* de la cadena Sheraton hace parte de una cadena de hoteles a nivel mundial, su accesibilidad a los distintos aeropuertos lo ha vuelto un lugar icónico en Medellín para propios y visitantes

**Fuente: Luxury Medellin Hotels, 2019 Agencia B Travel brand 2019**

En este trabajo se evaluaron 4 hoteles, sin embargo, 3 de los establecimientos fueron aforados y el cuarto se realizó mediante consulta al personal de servicios del hotel. La Figura 24 muestra el conteo de vehículos (por tipo de vehículo) de los viajes para un día típico de tres hoteles evaluados en la ciudad de Medellín: *Hotel Intercontinental*, *Hotel Dan*

Carton y San Fernando Plaza. El aforo se realizó en el horario de cargue y descargue autorizado para tomar la información entre las 05:15 y las 14:30 horas un solo día típico.

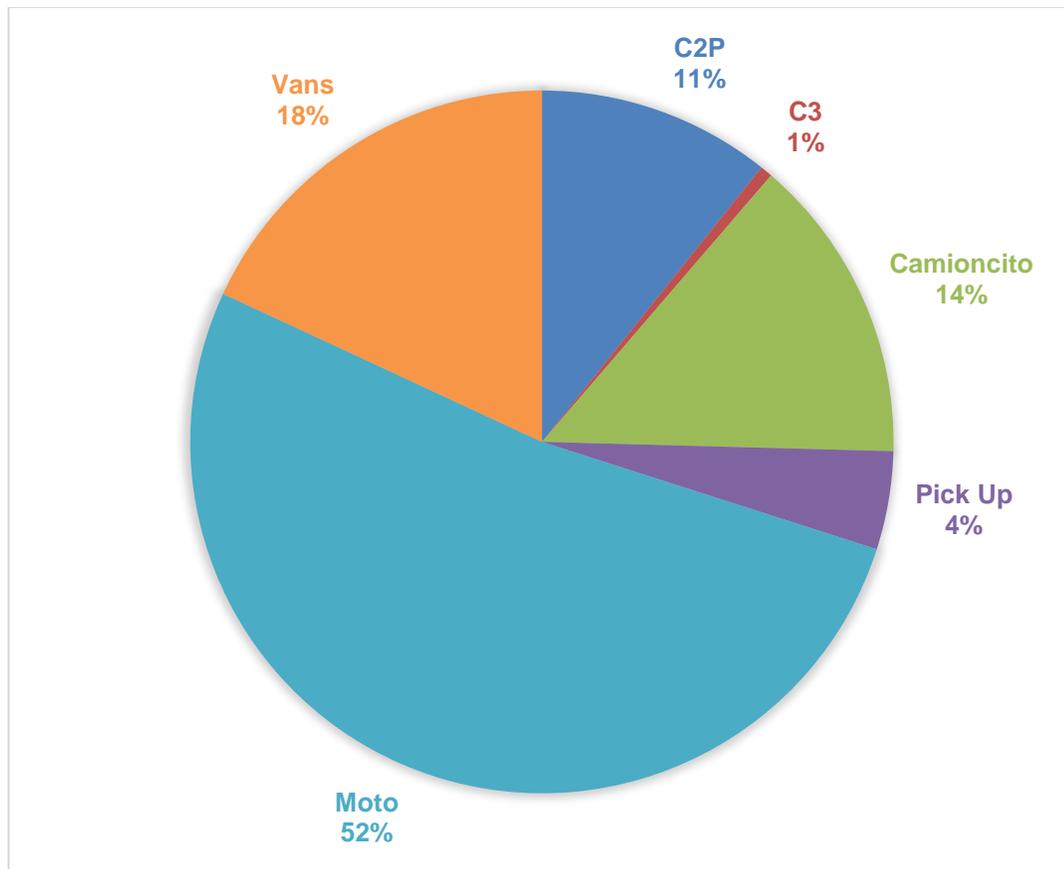
**Figura 24. Viajes atraídos de vehículos de mercancía a lo largo del día en hoteles estudiados**



Fuente: Elaboración propia

En el eje X se muestra la franja horaria en que se llevó a cabo el conteo con un intervalo de 15 minutos. En el eje Y se muestra la cantidad de viajes atraídos en los 3 hoteles (e.g., en la franja horaria entre las 05:45 y las 06:00 solo se registró un vehículo C2P atraído). Se observa que en un día típico a los hoteles aforados solo llegaron 6 tipos de vehículos a lo largo de la franja horaria: *moto*, *van*, *camioneta Pick Up*, *camioncito*, *C2P* y *C3*. La Figura 25 muestra la distribución del modo en que realizan los viajes para los tres hoteles aforados.

Figura 25. Composición vehicular de vehículos de mercancías atraídos en tres hoteles del Área Metropolitana del Valle de Aburrá



Fuente: Elaboración propia

Con base en los datos, se observa que para el caso de los tres hoteles el principal modo de transporte es la motocicleta con un 52%, seguido del Van con un 18%, el camioncito por su parte ocupa el 14% y el C2P un 11%.

Debido a que los hoteles no tienen como función principal producir viajes con mercancías y más bien son sitios que generan demanda de mercancías se estimaron únicamente *modelos lineales* y *no lineales* de atracción de viajes de carga para 4 grandes hoteles (Hotel Intercontinental, Hotel Dan Carlton, San Fernando Plaza, y Four Points). Para los modelos no lineales se aplicó la corrección por *bias correction* que busca reducir el error asociado al cambio de escala en el logaritmo natural de la variable dependiente (para los que aplicaba).

Se estimaron modelos simples y modelos múltiples con la variable área proyectada en piso en m<sup>2</sup>, empleo total y cantidad de habitaciones, las cuales fueron las únicas variables que

el investigador logró obtener en su proceso de recolección de información. La Tabla 14 muestra los modelos elegidos que resultaron ser estadísticamente significativos y conceptualmente válidos, otros modelos evaluados como los modelos múltiples y modelos con constante diferente de cero perdían validez estadística. En la Tabla 14 se observa: la variable asociada al modelo, el coeficiente de la variable, el t-test para la variable, el F-test para la comparación de modelos, y el coeficiente  $\beta$  relacionado al *bias correction* para modelos no-lineales.

**Tabla 14 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en hoteles**

Modelos	Variable empleada	Coeficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	$\beta$
<i>Lineal</i>	Área*	0,006143	4,152	17,236	0,852	
<i>Lineal</i>	Empleo**	0,177103	3,513	12,344	0,804	
<i>Lineal</i>	Habitaciones***	0,191306	4,314	18,609	0,861	
<i>Lineal - Ln</i>	Área*	4,601348	4,200	17,642	0,855	
<i>Lineal - Ln</i>	Empleo**	7,255031	3,792	14,382	0,827	
<i>Lineal - Ln</i>	Habitaciones***	7,552413	4,201	17,650	0,855	
<i>Ln - Ln</i>	Área*	0,410725	12,612	159,074	0,981	1.169
<i>Ln - Ln</i>	Empleo**	0,654246	9,814	96,323	0,970	1.292
<i>Ln - Ln</i>	Habitaciones***	0,673934	12,429	154,478	0,981	1.174
<i>Ln - Lineal</i>	Área*	0,000528	5,361	28,740	0,905	2.206
<i>Ln - Lineal</i>	Empleo**	0,016093	8,210	67,403	0,957	1.435
<i>Ln - Lineal</i>	Habitaciones***	0,016595	6,516	42,463	0,934	1.749

\*Área Refiere al área proyectado del piso en m<sup>2</sup>

\*\*Empleo Refiere a la cantidad de empleados total del establecimiento

\*\*\*Habitaciones Refiere a la cantidad de habitaciones

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los hoteles, la modelística muestra que las variables área proyectada del piso, empleo total y número de habitaciones tanto de los modelos lineales y no lineales son explicativas del fenómeno de la atracción viajes en grandes generadores urbanos con base en los datos tomados. Los t-test de las variables mostraron la significancia en la variable dependiente en un 95% al estar por encima de 1.96, además los signos que acompañan la variable mostraron la validez conceptual interpretándose como un aumento del área, empleo o habitaciones traerá consigo mayor número de viajes. La Tabla 15 muestra el mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal elegidos por el autor ya que

presentó un mejor t-test para la variable, un F-test mayor para el modelo y un mayor ajuste de  $R^2$ . Además de esto, el investigador consideró que en un caso aplicado la obtención de la variable cantidad de habitaciones resultaría más fácil de obtener.

**Tabla 15 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para hoteles**

Modelos	Variable empleada	Coficiente	t-test	F-test	$R^2$	$\beta$
<i>Lineal</i>	Habitaciones*	0,191306	4,314	18,609	0,861	
Ln - Ln	Habitaciones*	0,67393371	12,429	154,478	0,981	1.174

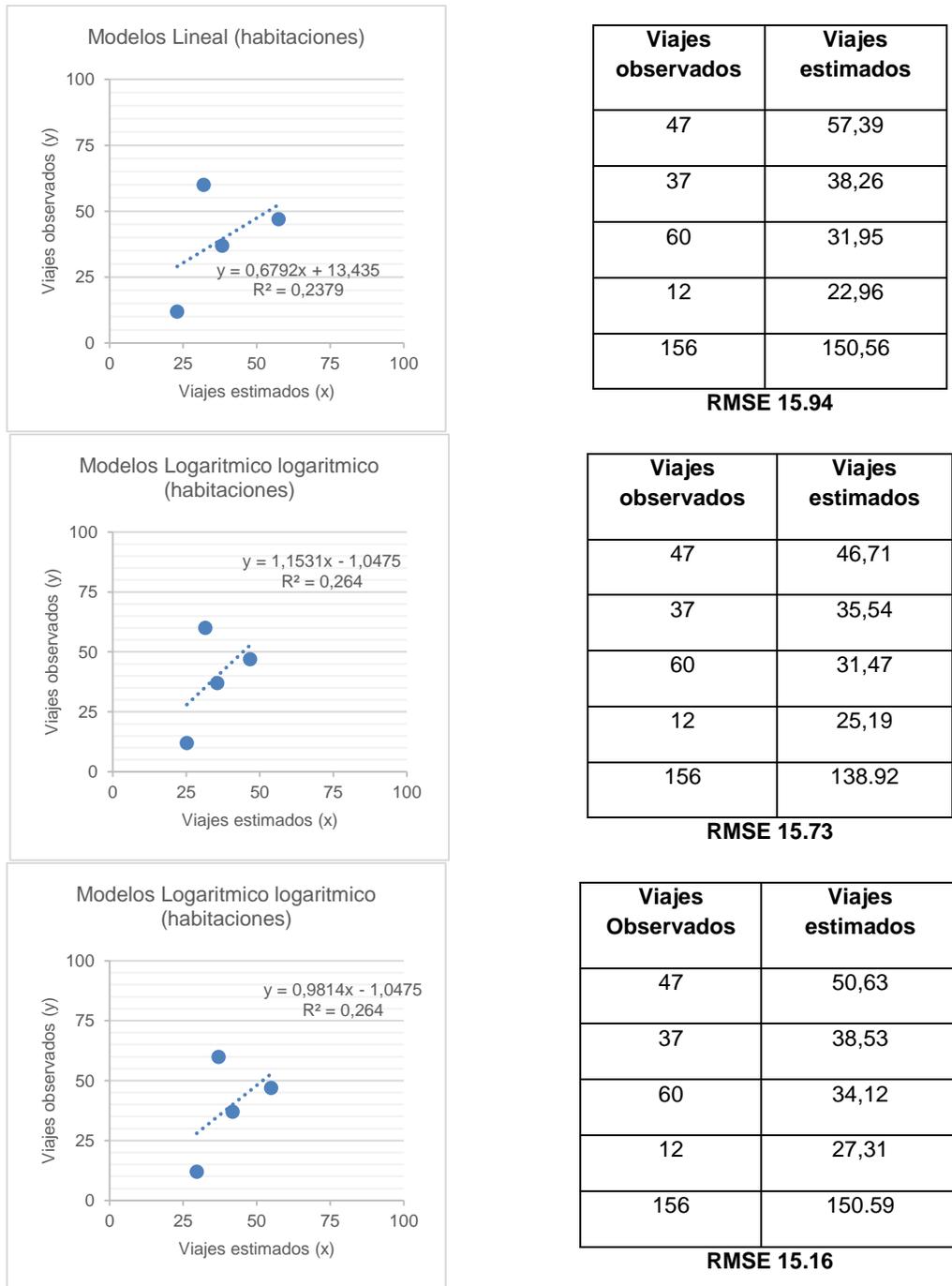
\*Habitaciones Refiere al número de habitaciones

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de los modelos lineales, la variable que obtuvo mayor poder explicativo fue habitaciones con una significancia de 4,314 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos lineales presenta un F-test mayor junto a un  $R^2$  más ajustado a los datos. Para el caso del mejor modelo no lineal, la misma variable obtuvo una significancia de 12,429 y signo positivo del coeficiente, el F-test del modelo con la variable habitaciones presenta un valor de 154.47 en comparación al modelo área con un valor de 159.074, como se observa es un valor menor en un 2.8% con respecto a la variable área. Sin embargo, por criterio ingenieril se elige este modelo ya que la variable habitaciones es más fácil de obtener en un caso aplicado que la variable área proyectada del establecimiento. Si se compara el modelo lineal y no lineal seleccionados por criterio del investigador, el que obtuvo un mayor F-test fue el modelo no lineal con un valor de 154.074 contra un valor de 17.23 que obtuvo el modelo lineal. Los valores de  $R^2$  muestran un buen ajuste a los datos con el 98.1% para el modelo no lineal y un 86.1 % para el modelo lineal.

Se estimó también el error cuadrático medio RMSE (por sus siglas en inglés *root mean square error*) que alcanza un valor de cero y una recta de 45° cuando los valores estimados de los viajes se ajusten perfectamente a los valores observados (generalmente esto no sucede en casos aplicados). Por consiguiente, el menor valor será el más aceptado cuando se tratan de comparar los modelos. La Figura 26 muestra la comparación entre los viajes estimados y los viajes observados para el caso del modelo lineal y no lineal elegidos.

Figura 26. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes hoteles con base en Modelo lineal y el modelo In-In



Fuente: Elaboración propia

La comparación de los viajes estimados versus los viajes observados del modelo lineal y no lineal muestra que el modelo no lineal que emplea la variable habitaciones tiene un mejor ajuste debido a que la raíz cuadrada de sus errores es más cercana a cero, cabe

recordar que en un caso ideal el valor del RMSE sería igual a cero significando un ajuste perfecto entre los valores observados y los estimados. También muestra como el error cuadrático medio RMSE disminuye cuando se aplica la corrección por sesgo.

La Ecuación 29 muestra la formulación del mejor modelo *lineal* con base en los datos para el caso de grandes hoteles empleando la variable área.

$$FTA = 0.1913 \text{ habitaciones} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$Habitaciones = \text{número de habitaciones}$

Con base en la Ecuación 30 el mejor modelo *no lineal* encontrado para el caso de grandes hoteles es:

$$FTA = 1.174 \times e^{(0,67393371 \ln(\text{habitaciones}))} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$Habitaciones = \text{número de habitaciones}$

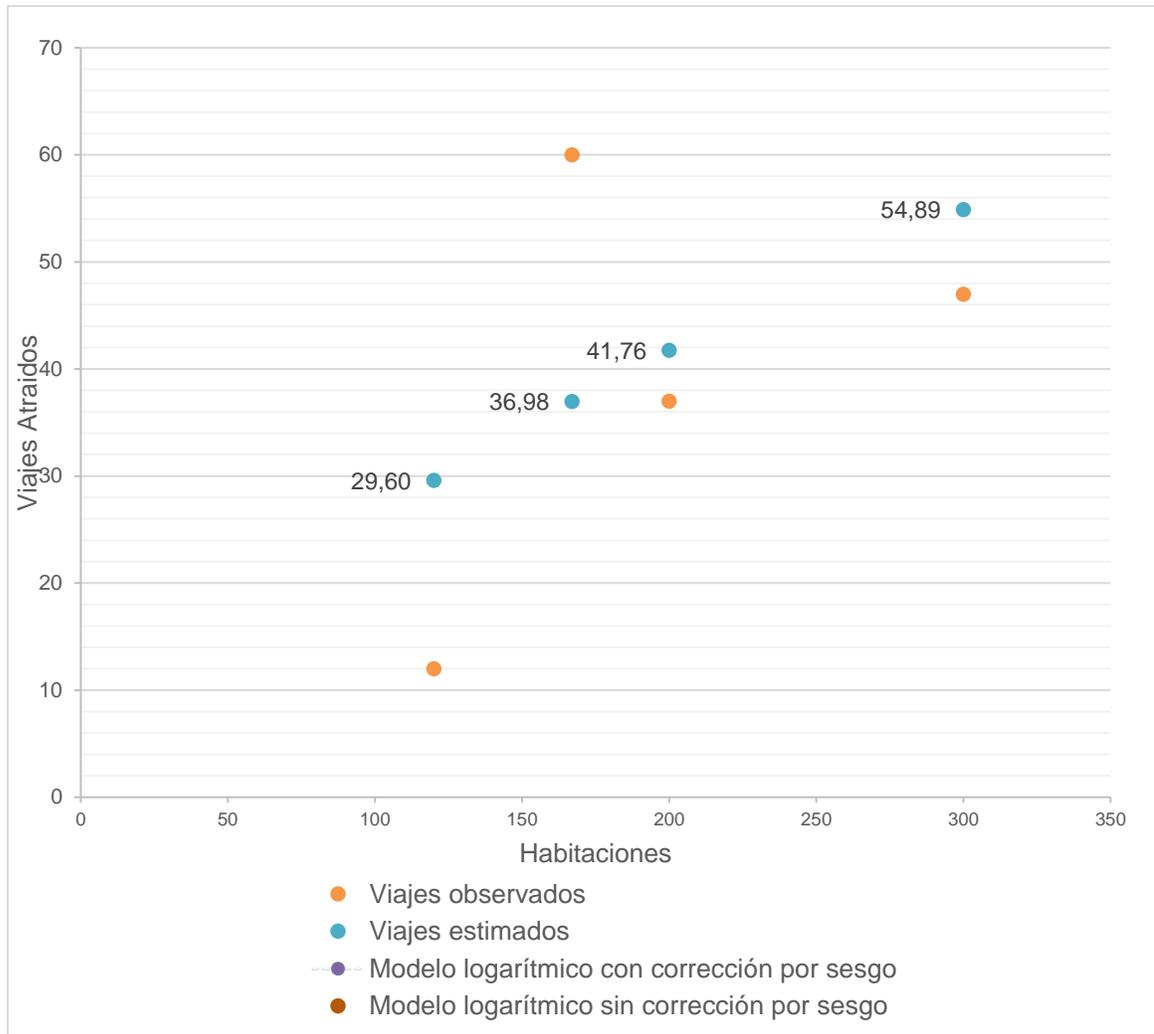
$$\beta = e^{\frac{\sigma^2}{2}}$$

$\beta_1 = \text{coeficiente del modelo}$

Que correspondiente a un modelo Ln-Ln empleando la corrección por sesgo.

La representación gráfica del modelo empleando la variable habitaciones se muestra en la Figura 27. En ella se observa el modelo no lineal con corrección por sesgo, en modelo no lineal sin corrección por sesgo y los datos tanto observados como no observados.

Figura 27. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable habitaciones



Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.2 Grandes centros comerciales

Los centros comerciales entendidos como centros de recreación y entretenimiento para la población residente en áreas urbanas generan una cantidad de viajes de mercancías para suplir la demanda de los visitantes y empleados. Dentro de los establecimientos comerciales se encuentran restaurantes, bancos, oficinas, ventas al por menor y una gran cantidad de actividades económicas que atraen viajes de mercancías para su funcionamiento. La Tabla 16 muestra los centros comerciales que fueron evaluados en el desarrollo de este trabajo investigativo.

**Tabla 16 Centros comerciales incluidos en la investigación**

Centro Comercial Monterrey
Centro Comercial Oviedo
Centro Comercial Puerta del Norte
Centro Comercial Florida
Centro Comercial Aventura
Centro Comercial Unicentro
Centro Comercial San Diego
Centro Comercial Premium Plaza
Centro Comercial Viva Envigado
Centro Comercial El Tesoro
Centro Comercial Mayorca
Centro Comercial Los Molinos
Centro Comercial Santa Fe
Carulla

**Fuente:** Elaboración propia

La Figura 28 muestra dos establecimientos tomados como referente de grandes generadores de viajes en el AMVA que cumplen con la condición establecida de más de 20 viajes/día por ser considerados grandes generadores de viajes de carga.

Figura 28. Ejemplo de centros comerciales referentes como grandes generadores de viajes de carga *Viva Envigado* y *Monterrey*

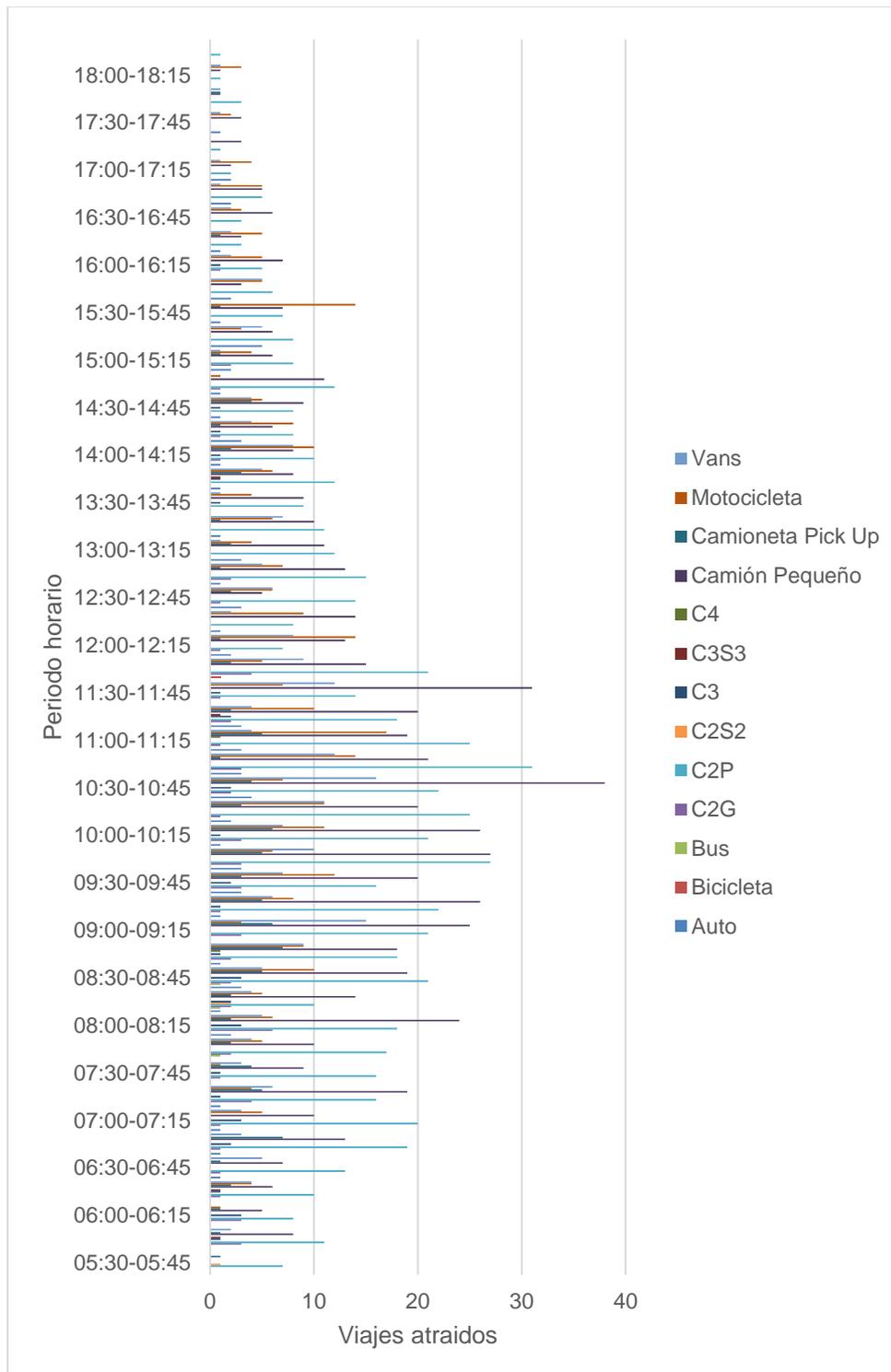


Fuente: Caracol Radio 2015, Gomez Escobar 2017

En este trabajo se evaluaron 14 centros comerciales, los datos fueron recolectados mediante conteos vehiculares para determinar la atracción de los viajes de mercancías. El aforo se realizó en el horario de cargue y descargue autorizado para tomar la información entre las 05:30 y las 18:30 horas en un solo día típico. La Figura 29 muestra el conteo de vehículos (por tipo de vehículo) de los viajes para un día típico de los 14 centros comerciales evaluados en la ciudad de Medellín.

En el eje de las ordenas se muestra la franja horaria en que se llevó a cabo el conteo con un intervalo de 15 minutos. En el eje de las abscisas se muestra la cantidad de viajes atraídos en los 14 centros comerciales (e.g., en la franja horaria entre las 18:15 y las 18:30 solo se registró un vehículo C2P atraído). Se observa que en un día típico a los establecimientos aforados llegaron 13 tipos de vehículos a lo largo de la franja horaria: *bicicleta, moto, automóvil, van, camioneta Pick-Up, Camión Pequeño, C2P, C3, C2S2, C4, C3S3.*

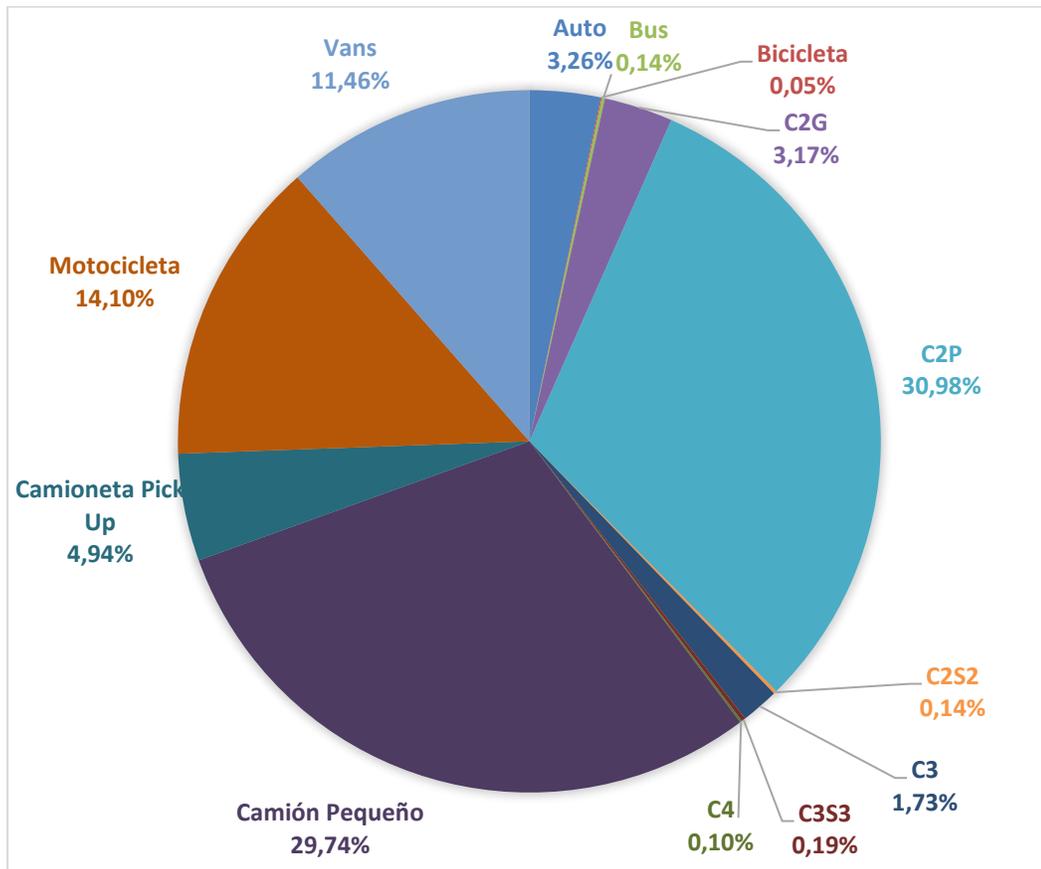
**Figura 29. Viajes atraídos de vehículos de mercancía a lo largo del día en centros comerciales estudiados**



Fuente: Elaboración propia

La Figura 30 muestra la distribución del modo en que realizan los viajes para los catorce centros comerciales aforados.

Figura 30. Composición vehicular de vehículos de mercancías atraídos en centros comerciales estudiados del Área Metropolitana del Valle de Aburrá



Fuente: Elaboración propia

Con base en los datos, se observa que, para el caso de los centros comerciales estudiados, el principal modo de transporte es el C2P con 30.98% de los viajes de carga realizados en este modo, seguido de la motocicleta con un 14.10% y la Van con 11.46%.

Considerando que los centros comerciales son, principalmente atractores de viajes de carga, debido a la necesidad de surtir las tiendas y restaurantes contenidos dentro de los mismos; el presente estudio se centra en estimar *modelos lineales* y *no lineales* de atracción de viajes de carga para los establecimientos encuestados. Para los modelos no

lineales se aplicó la corrección por *bias correction* que busca reducir el error asociado al cambio de escala en el logaritmo natural de la variable dependiente.

Se estimaron modelos simples y modelos múltiples con la variable área proyectada en piso en m<sup>2</sup>, empleo y cantidad de establecimientos. La Tabla 17 muestra los modelos elegidos que resultaron ser estadísticamente significativos y conceptualmente válidos, otros modelos evaluados como los modelos múltiples y modelos con constante diferente de cero perdían validez estadística. En la tabla se observa la variable asociada al modelo, el coeficiente de la variable, el t-test para la variable, el F-test para la comparación de modelos, y el coeficiente  $\beta$  relacionado al *bias correction* para modelos no-lineales (para los casos que aplica).

**Tabla 17 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en centros comerciales**

Modelos	Variable empleada	Coeficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	$\beta$
<i>Lineal</i>	Área*	0,004779	10,86	118,01	0,90	
<i>Lineal</i>	Empleo**	0,110071	6,07	36,80	0,74	
<i>Lineal</i>	Establecimientos***	0,465206	6,07	36,80	0,74	
<i>Lineal - Ln</i>	Área*	15,1704	8,94	79,99	0,86	
<i>Lineal - Ln</i>	Empleo**	22,3605	9,03	81,60	0,86	
<i>Lineal - Ln</i>	Establecimientos***	28,3903	9,31	86,63	0,87	
<i>Ln - Ln</i>	Área*	0,484283	39,79	1583,11	0,99	1.11
<i>Ln - Ln</i>	Empleo**	0,712475	37,55	1409,86	0,99	1.12
<i>Ln - Ln</i>	Establecimientos***	0,899821	33,16	1099,33	0,99	1.162
<i>Ln - Lineal</i>	Área*	0,000135	7,68	58,95	0,82	10.186
<i>Ln - Lineal</i>	Empleo**	0,003391	7,07	49,96	0,79	14.18
<i>Ln - Lineal</i>	Establecimientos***	0,014331	7,07	49,93	0,79	14.21

\*Área Refiere al área proyectado del piso en m<sup>2</sup>

\*\*Empleo Refiere a la cantidad de empleados total del establecimiento

\*\*\*Establecimientos Refiere a la cantidad de establecimientos

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de los centros comerciales, la modelística muestra que las variables *área proyectada del piso, empleo total y número de establecimientos* tanto de los modelos lineales y no lineales son explicativas del fenómeno de la atracción viajes en grandes generadores urbanos con base en los datos recolectados. Los t-test de las variables

mostraron la significancia en la variable dependiente en un 95% al superar el valor 1.96 en el t-test, además los signos que acompañan la variable mostraron la validez conceptual interpretándose como un aumento del área, empleo o en empleados traerá consigo mayor número de viajes. La Tabla 18 muestra el mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal elegidos considerando que presentaron un mejor t-test para la variable, un F-test mayor para el modelo y un mayor ajuste de R<sup>2</sup>, por último, se consideró la aplicabilidad del modelo y facilidad de recolección de la información.

**Tabla 18 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para centros comerciales**

Modelos	Variable empleada	Coefficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	β
<i>Lineal</i>	Establecimientos*	0,465206	6,07	36,80	0,74	
Ln - Ln	Establecimientos*	0,899821	33,16	1099,33	0,99	1.162

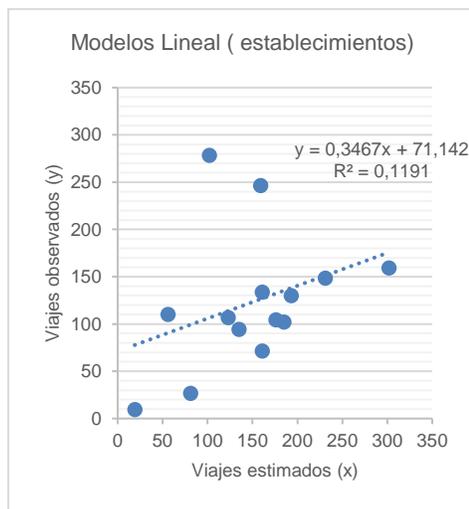
\*Establecimientos Refiere al número de establecimientos

**Fuente:** Elaboración propia

Se observa que, en el caso de los modelos lineales, la variable que obtuvo mayor poder explicativo fue establecimientos con una significancia de 6,07 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos lineales presenta un F-test mayor junto a un R<sup>2</sup> más ajustado a los datos. Para el caso del mejor modelo no lineal, la misma variable obtuvo una significancia de 33,16 y signo positivo del coeficiente, el F-test del modelo con la variable establecimientos presenta un valor de 1099,33. Si se compara el modelo lineal y no lineal seleccionados, el modelo que obtuvo un F-test superior fue el modelo no lineal. Los valores de R<sup>2</sup> muestran un buen ajuste a los datos con el 99% para el modelo no lineal y un 74% para el modelo lineal.

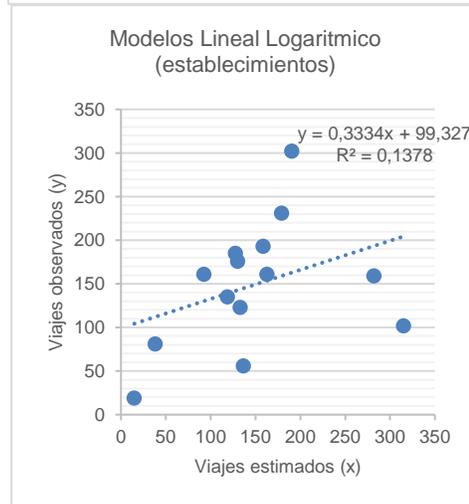
Se estimó también el error cuadrático medio RMSE (por sus siglas en inglés *root mean square error*) que alcanza un valor de cero y una recta de 45° cuando los valores estimados de los viajes se ajusten perfectamente a los valores observados (generalmente esto no sucede en casos aplicados). Por consiguiente, el menor valor será el más aceptado cuando se tratan de comparar los modelos. La Figura 31 muestra la comparación entre los viajes estimados y los viajes observados para el caso del modelo lineal y no lineal.

**Figura 31. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes centros comerciales con base en Modelo lineal y el modelo ln-ln**



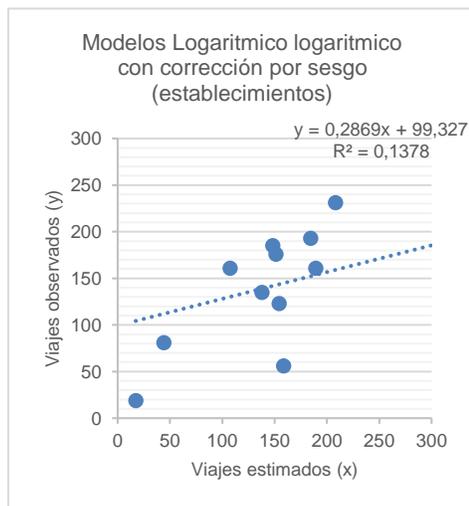
Viajes observados	Viajes estimados
56	109,79
123	106,53
193	129,79
161	71,18
81	26,52
135	93,97
176	104,21
161	133,51
302	159,10
159	246,09
102	278,19
185	101,88
231	148,40
19	9,30
<b>2084</b>	<b>1718,47</b>

**RMSE 83.94**



Viajes observados	Viajes estimados
56	136,52
123	132,87
193	158,71
161	92,43
81	38,02
135	118,69
176	130,26
161	162,80
302	190,62
159	282,24
102	315,16
185	127,64
231	179,05
19	14,81
<b>2084</b>	<b>2079,82</b>

**RMSE 82.68**



Viajes observados	Viajes estimados
56	158,64
123	154,40
193	184,42
161	107,41
81	44,18
135	137,92
176	151,36
161	189,18
302	221,50
159	327,97
102	366,22
185	148,32
231	208,05
19	17,21
<b>2084</b>	<b>2416,78</b>

**RMSE 94.09**

Fuente: Elaboración propia

La comparación de los viajes estimados versus los viajes observados del modelo lineal y no lineal muestra que el modelo no lineal que emplea la variable establecimientos tiene un mejor ajuste debido a que la raíz cuadrada de sus errores es más cercana a cero, cabe recordar que en un caso ideal el valor del RMSE sería igual a cero significando un ajuste perfecto entre los valores observados y los estimados. También muestra como el error cuadrático medio RMSE disminuye cuando se aplica la corrección por sesgo.

La Ecuación 31 muestra la formulación del mejor modelo *lineal* con base en los datos para el caso de grandes centros comerciales empleando la variable establecimientos.

$$FTA = 0.4652 \text{ establecimientos} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$Habitaciones = \text{número de establecimientos}$

Con base en la Ecuación 32 el mejor modelo *no lineal* encontrado para el caso de grandes centros comerciales es:

$$FTA = 1.162 \times e^{(0.8998 \ln(\text{establecimientos}))} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$Establecimientos = \text{número de establecimientos}$

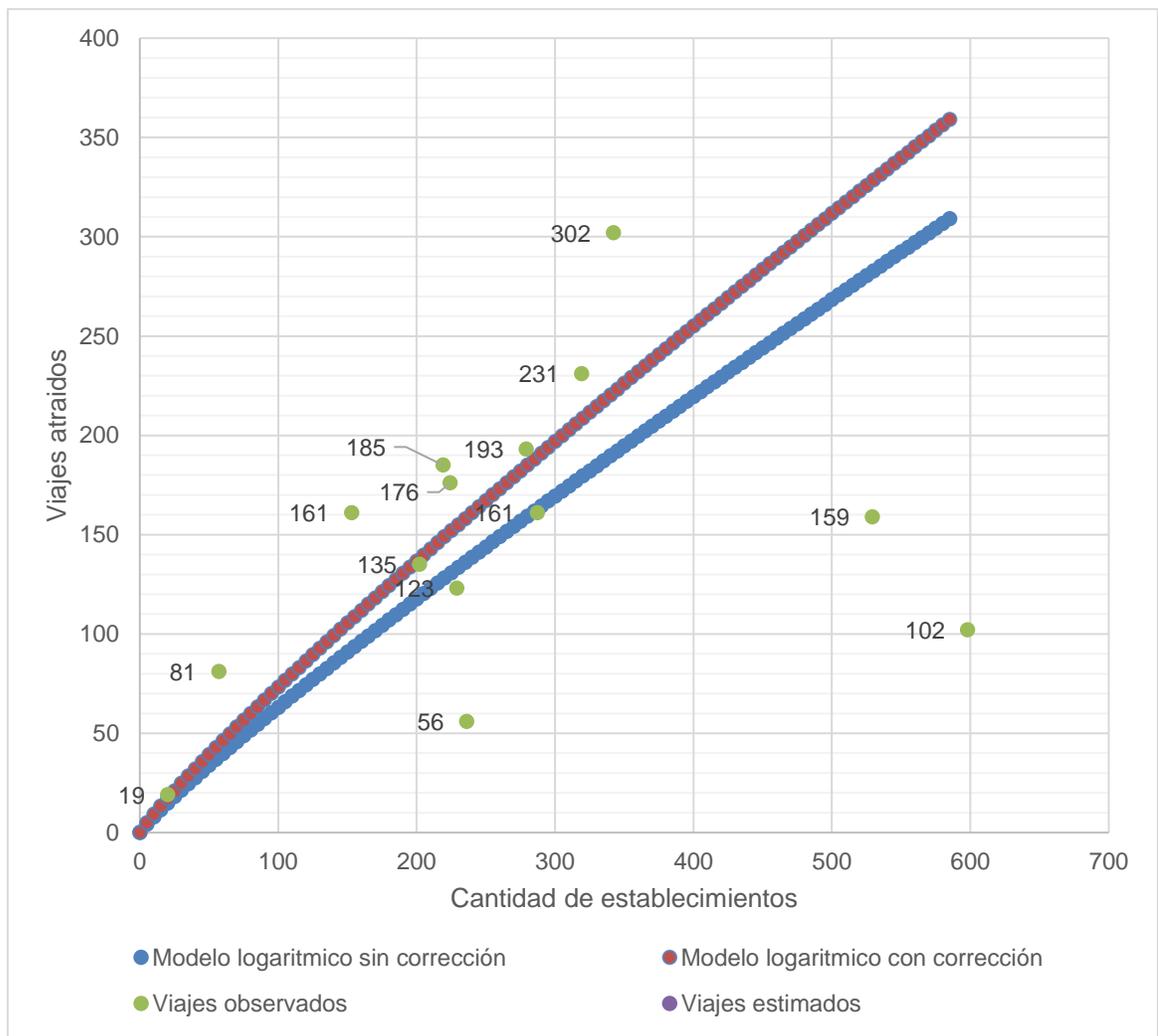
$$\beta = e^{\frac{\sigma^2}{2}}$$

$\beta_1 = \text{coeficiente del modelo}$

Que correspondiente a un modelo Ln-Ln empleando la corrección por sesgo.

La representación gráfica del modelo empleando la variable establecimientos se muestra en la Figura 32. En ella se observa el modelo no lineal con corrección por sesgo, en modelo no lineal sin corrección por sesgo y los datos tanto observados como no observados.

**Figura 32. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable establecimientos**



Fuente: Elaboración propia

### 4.9.3 Grandes empresas

Al igual que las plazas de mercado, las grandes empresas localizadas en zonas urbanas son centros que, en general, deben ser considerados tanto productores como atractores de viajes de carga. En el caso de la atracción de viajes de carga, ésta se debe generalmente a la recepción de insumos y materia prima necesarios para la elaboración de sus productos; por otro lado, estas grandes empresas, requieren la distribución de sus productos, bien sea a nivel regional, nacional o internacional, por tanto, esta necesidad de transportar dichos productos deriva en la producción de viajes de carga. La Figura 33 muestra dos de las empresas seleccionadas en este estudio como referentes de grandes

generadores de viajes en el AMVA, cumpliendo con la condición establecida de presentar más de 20 viajes de carga/día.

**Figura 33. Ejemplo de empresas referentes como grandes generadores de viajes de carga Contegral y Colanta**



Fuente: Opersource 2018

En este trabajo se evaluaron 28 grandes empresas localizadas en el Valle de Aburrá, de las cuales se obtuvo información específica sobre las variables: *la carga en kilogramos y cantidad de empleados*. El número de viajes de carga fue obtenido a partir de la encuesta de grandes generadores realizado en el estudio sobre el transporte de carga mediante encuestas. En ésta, los datos acerca de la cantidad de viajes y carga transportada fueron obtenidos mediante comunicación directa con las empresas.

Se estimaron modelos simples y modelos múltiples con las variables empleados y carga en kilogramos para determinar la producción de viajes de carga. La Tabla 19 muestra los modelos cuyos resultados fueron estadísticamente significativos y conceptualmente válidos, otros modelos evaluados como los modelos múltiples y modelos con constante diferente de cero perdían validez estadística. En la Tabla 19 se observa: la variable asociada al modelo, el coeficiente de la variable, el t-test para la variable, el F-test para la comparación de modelos, y el coeficiente  $\beta$  relacionado al *bias correction* para modelos no-lineales (para los que aplicaba).

**Tabla 19 Modelos lineales y no lineales de producción de viajes de carga en grandes empresas**

<b>Modelos</b>	<b>Variable empleada</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>t-test</b>	<b>F-test</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>β</b>
<i>Lineal</i>	Empleo*	0,165106	2,37	5,64	0,17	
<i>Lineal</i>	Carga en Kg**	0,000103	3,61	13,05	0,32	
<i>Lineal - Ln</i>	Empleo*	16,549	3,21	10,32	0,28	
<i>Lineal - Ln</i>	Carga en Kg**	8,1713	3,91	15,28	0,36	
<i>Ln - Ln</i>	Empleo*	0,68263	12,78	163,32	0,86	3.126
<i>Ln - Ln</i>	Carga en Kg**	0,3078	19,14	397,61	0,94	1.667
<i>Ln - Lineal</i>	Empleo*	0,00665	5,32	28,28	0,51	50.617
<i>Ln - Lineal</i>	Carga en Kg**	0,000003	5,34	28,61	0,51	49.427

\*\*Carga en Kg Refiere a la carga en kg transportada desde el generador

\* Empleo Refiere al número de empleados total del generador

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de las grandes empresas, la modelística muestra que las variables carga en kilogramos y empleados, tanto de los modelos lineales y no lineales, son explicativas del fenómeno de la producción de viajes en grandes generadores urbanos con base en los datos recopilados. Los t-test de las variables mostraron la significancia en la variable dependiente mayor o igual al 95% al contar con valores superiores a 1.96, además los signos que acompañan la variable mostraron la validez conceptual interpretándose como un aumento en el número total de empleados del generador o en los kilogramos de carga transportada desde el generador, traerá consigo mayor número de viajes de carga. La Tabla 20 presenta el mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal para seleccionados considerando que presentaran el mejor t-test para la variable, F-test mayor para el modelo, un mayor ajuste de R<sup>2</sup> y, por último, la aplicabilidad y facilidad de obtención de las variables independientes.

Tabla 20 Mejor modelo lineal y no lineal de producción de viajes de carga seleccionados para grandes empresas

Modelos	Variable empleada	Coefficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	β
Lineal	Carga en Kg	0,000103	3,61	13,05	0,32	
Ln - Ln	Carga en Kg	0,3078	19,14	397,61	0,94	1.667

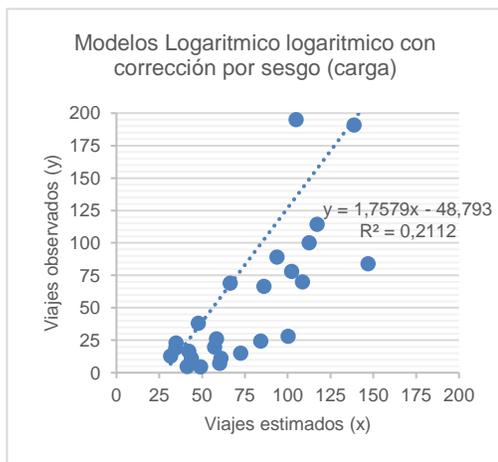
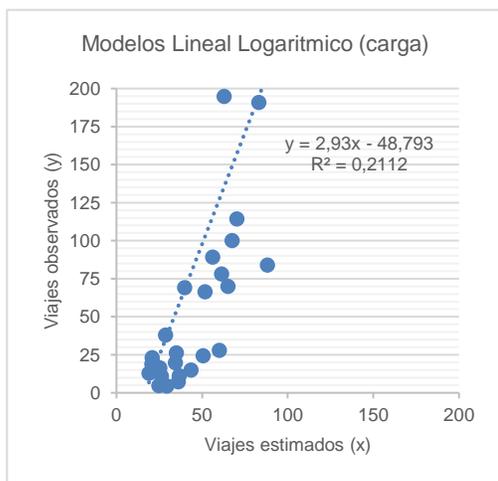
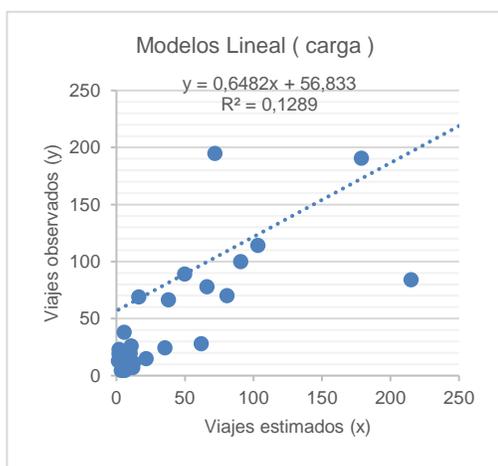
\*Carga en Kg Refiere a la carga en kg transportada desde el generador

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los modelos lineales, la variable que obtuvo mayor poder explicativo fue carga en kg, con una significancia de 3,61 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos lineales este modelo presenta un F-test mayor junto a un R<sup>2</sup> más ajustado a los datos. Para el caso del mejor modelo no lineal, la misma variable obtuvo una significancia de 19,14 y signo positivo del coeficiente. El F-test del modelo con la variable carga en kg presenta un valor 397,61 el cual resulta superior en comparación al modelo empleados cuyo valor es 163,32, adicionalmente, se consideró la aplicabilidad del modelo y facilidad de recolección de la variable independiente, por lo cual se seleccionó los modelos con variable dependiente carga en kg. La comparación del mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal muestra que el mayor F-test se observa en el modelo no lineal con un valor de 397,61 contra un valor de 13,05 que obtuvo el modelo lineal; por otro lado, los valores de R<sup>2</sup> muestran un buen ajuste a los datos con el 94% para el modelo no lineal mientras que el caso del modelo lineal se presenta un ajuste a los datos de 32%.

Se estimó también el error cuadrático medio RMSE (por sus siglas en inglés *root mean square error*) que alcanza un valor de cero y una recta de 45° cuando los valores estimados de los viajes se ajusten perfectamente a los valores observados (generalmente esto no sucede en casos aplicados). Por consiguiente, el menor valor será el más aceptado cuando se tratan de comparar los modelos. La Figura 34 muestra la comparación entre los viajes estimados y los viajes observados para el caso del modelo lineal y no lineal elegidos.

Figura 34. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes empresas con base en Modelo lineal y el modelo In-In



Viajes	Carga_dia_kg	Viajes	Carga_dia_kg
16.46	3.75	23.00	2.00
38.00	5.64	100.00	90.64
19.73	10.16	78.00	66.21
7.12	11.88	4.72	3.49
69.00	16.36	4.53	6.16
26.17	10.74	606.23	35.02
114.31	103.24	12.88	1.46
66.45	38.09	11.17	12.39
24.31	35.44	84.00	215.06
11.00	4.21	70.00	80.68
89.15	49.88	28.00	62.01
15.00	21.73	190.77	178.77
491.17	108.41	211.00	348.96
19.00	1.96	194.88	71.89
<b>2626.04</b>		<b>1596.24</b>	

RMSE 138.055

Viajes	Carga_dia_kg	Viajes	Carga_dia_kg
16.46	25.34	23.00	20.90
38.00	28.75	100.00	67.56
19.73	34.45	78.00	61.34
7.12	36.15	4.72	24.79
69.00	39.89	4.53	29.53
26.17	35.05	606.23	50.42
114.31	70.32	12.88	18.98
66.45	51.74	11.17	36.62
24.31	50.60	84.00	88.15
11.00	26.27	70.00	65.19
89.15	56.22	28.00	60.11
15.00	43.53	190.77	83.27
491.17	71.39	211.00	102.31
19.00	20.75	194.88	62.91
<b>2626.04</b>		<b>1362.53</b>	

RMSE 138.50

Viajes	Carga_dia_kg	Viajes	Carga_dia_kg
16.46	42.24	23.00	34.83
38.00	47.92	100.00	112.61
19.73	57.42	78.00	102.24
7.12	60.25	4.72	41.33
69.00	66.48	4.53	49.23
26.17	58.41	606.23	84.03
114.31	117.22	12.88	31.64
66.45	86.24	11.17	61.04
24.31	84.35	84.00	146.92
11.00	43.79	70.00	108.65
89.15	93.70	28.00	100.19
15.00	72.56	190.77	138.80
491.17	118.99	211.00	170.53
19.00	34.58	194.88	104.86
<b>2626.04</b>		<b>2271.06</b>	

RMSE 127.62

Fuente: Elaboración propia

La comparación de los viajes estimados versus los viajes observados del modelo lineal y no lineal muestra que el modelo no lineal que emplea la variable carga kg/día tiene un

mejor ajuste debido a que la raíz cuadrada de sus errores es más cercana a cero, cabe recordar que en un caso ideal el valor del RMSE sería igual a cero significando un ajuste perfecto entre los valores observados y los estimados. También muestra como el error cuadrático medio RMSE disminuye cuando se aplica la corrección por sesgo.

La Ecuación 33 muestra la formulación del mejor modelo *lineal* con base en los datos para el caso de grandes empresas empleando la variable carga en kg.

$$FTP = 0,000103 \text{ carga en kg} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde,

$FTP = \text{viajes de carga producidos}$

$\text{Carga en kg} = \text{carga en kg transportada desde el generador}$

Con base en la Ecuación 34 el mejor modelo *no lineal* encontrado para el caso de grandes empresas es:

$$FTP = 1.667 \times e^{(0,3078 \ln(\text{carga en kg}))} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde,

$FTP = \text{viajes de carga producidos}$

$\text{Carga en kg} = \text{carga en kg transportada desde el generador}$

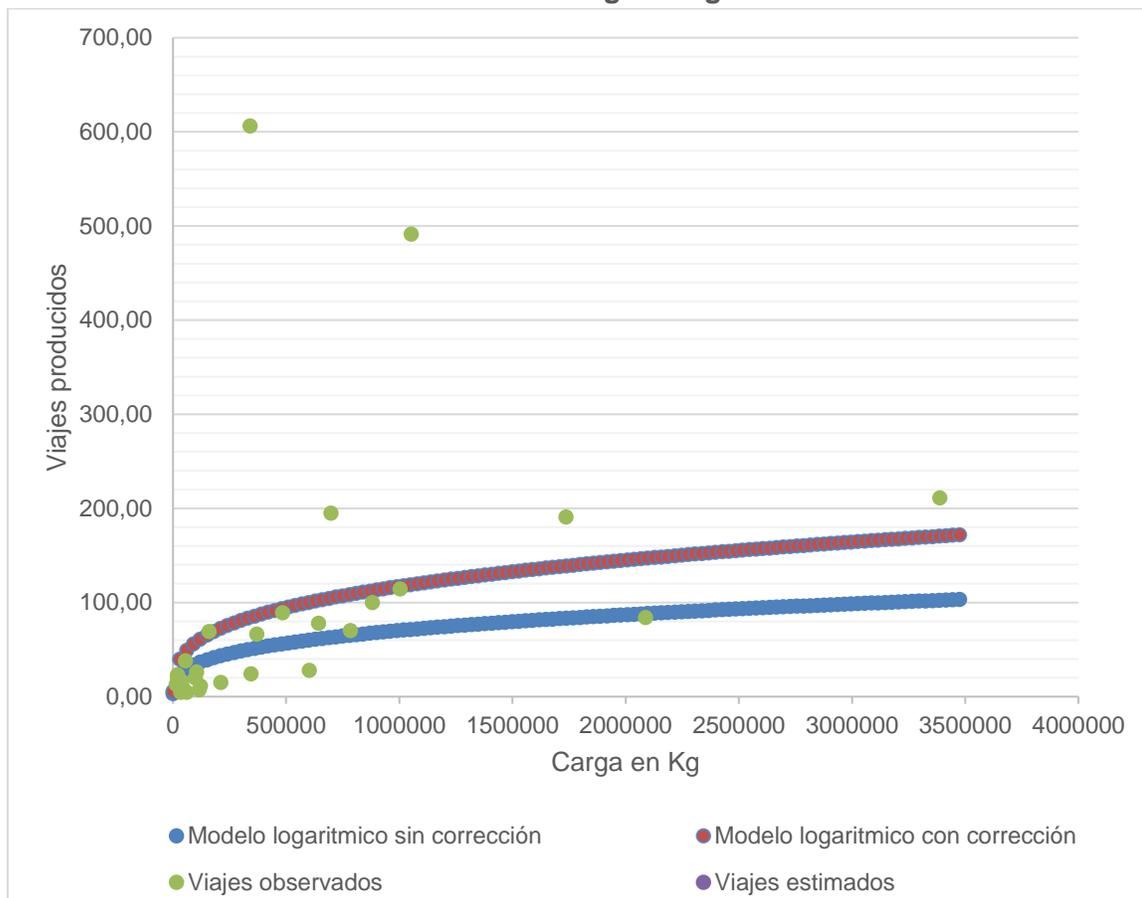
$$\beta = e^{\frac{\sigma^2}{2}}$$

$\beta_1 = \text{coeficiente del modelo}$

Que correspondiente a un modelo Ln-Ln empleando la corrección por sesgo.

La representación gráfica del modelo empleando la variable carga en kg se muestra en la Figura 35. En ella se observa el modelo no lineal con corrección por sesgo, en modelo no lineal sin corrección por sesgo y los datos tanto observados como no observados.

**Figura 35. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable carga en kg**



Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.4 Grandes hospitales

Los hospitales son centros atractores de una gran cantidad de visitantes, el personal que ocupa un hospital puede ser: empleados, pacientes, personal de operación o visitantes. Cada uno de ellos genera un consumo dentro de las instalaciones de productos y servicios que conlleva a que sean transportados de un lugar a otro (e.g., empresas de almacenaje y reposición de oxígeno). Además, dentro de estos establecimientos existen tiendas, droguerías, cafeterías, pequeños bancos, entre otros, que debido a la actividad económica que desarrollan atraen una cantidad constante de viajes (e.g., el camión de Coca-Cola visita cada 2 semanas, el camión de reparto de cajas de salud de Prebel). La Figura 36 muestra dos hospitales tomados como referente de grandes generadores de viajes en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá que cumplen con presentar más de 20 viajes de carga/día, condición establecida para ser considerados grandes generadores de viajes de carga.

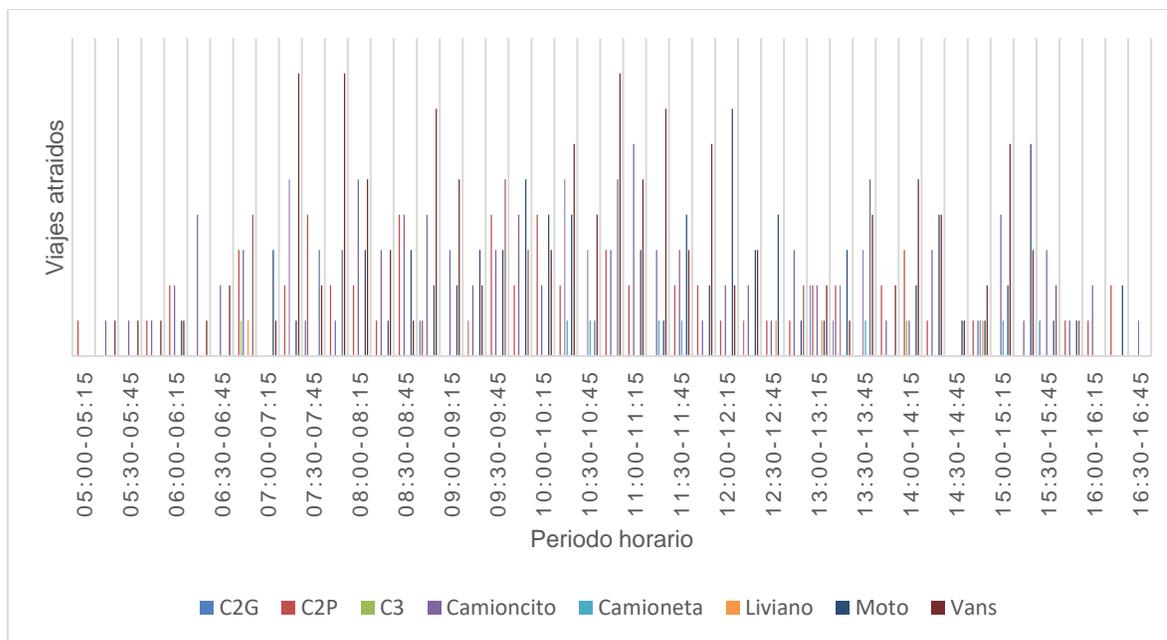
Figura 36. Ejemplo de hospital referente como gran generador de viajes de carga, *Hospital Pablo Tobón Uribe*



Fuente: Hospital Pablo Tobón Uribe, 2011 Consultorsalud, 2018

En el desarrollo de esta investigación se realizaron conteos de tráfico de 5 grandes hospitales (*Clínica las Américas, Hospital General, Pablo Tobón, Clínica León XIII, San Vicente Fundación*) debido a la disponibilidad de recursos y la facilidad de acceso que brinda el establecimiento. La Figura 37 muestra el histograma de viajes en el horario de carga y descarga entre las 6:30 am y las 16:45 horas para un solo día típico.

**Figura 37. Viajes atraídos de vehículos de mercancía a lo largo del día en hospitales estudiados**

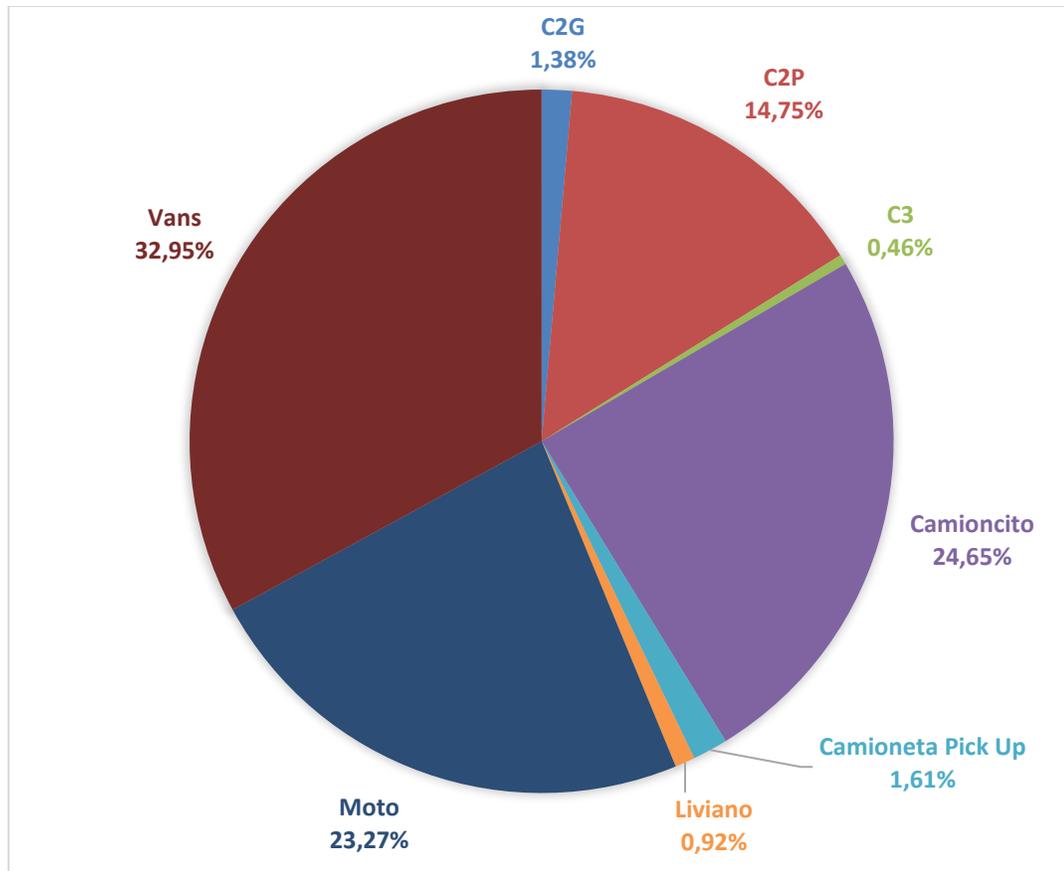


**Fuente:** Elaboración propia

En el eje X se muestra la franja horaria en que se llevó a cabo el conteo con un intervalo de 15 minutos. En el eje Y se presenta la cantidad de viajes atraídos en los 5 hospitales (e.g., en la franja horaria entre las 05:00 y las 05:15 solo se registró un vehículo C2P atraído). Se observa que en un día típico y en la franja horaria aforada a los hospitales llegaron 8 tipos de vehículos: *moto*, *liviano*, *camioneta pick up*, *van*, *camioncito*, *C2P*, *C2G* y *C3*.

La Figura 38 muestra la distribución del modo en que realizan los viajes para los cinco hospitales aforados.

Figura 38. Composición vehicular de vehículos de mercancías atraídos en cinco grandes hospitales del Área Metropolitana del Valle de Aburrá



Fuente: Elaboración propia

Con base en los datos se observa que el principal modo de reparto de viajes es la van con un 32.95% de viajes, seguida del camioncito con un 24.65%, la motocicleta con un 23.27% y el C2P con un 14.75%.

Debido a que los hospitales presentan una gran demanda de productos, se consideran en si centros atractores, y no centros productores de viajes de mercancías. Por tal motivo, para este tipo de establecimientos, esta investigación enfocó en la estimación modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de mercancías. En el caso de los modelos no lineales se aplicó la corrección de sesgo que busca reducir el error asociado al cambio de escala en el logaritmo natural de la variable independiente (para los que aplicaba).

Se estimaron modelos simples y modelos múltiples con la variable *área proyectada en piso* en m<sup>2</sup>, *número de empleados* y *número de camas*. Éstas variables fueron las únicas que el investigador logró obtener en su proceso de recolección de información. La Tabla 21

muestra los modelos elegidos que resultaron ser estadísticamente significativos y conceptualmente válidos, otros modelos evaluados como los modelos múltiples y modelos con constante diferente de cero perdían validez estadística. En la Tabla 21 se observa: la variable asociada al modelo, el coeficiente de la variable, el t-test para la variable, el F-test para la comparación de modelos, y el coeficiente  $\beta$  relacionado al *bias correction* para modelos no-lineales.

**Tabla 21 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en Hospitales**

Modelos	Variable empleada	Coeficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	$\beta$
<i>Lineal</i>	Área*	0,0024	3,71	13,76	0,77	
<i>Lineal</i>	Empleo**	0,0774	1,90	3,62	0,47	
<i>Lineal</i>	Camas***	0,1584	4,51	20,35	0,84	
<i>Lineal - Ln</i>	Área*	8,9044	7,02	49,24	0,92	
<i>Lineal - Ln</i>	Empleo**	15,0394	5,28	27,89	0,87	
<i>Lineal - Ln</i>	Camas***	14,1420	5,91	34,97	0,90	
<i>Ln - Ln</i>	Área*	0,4405	30,08	904,99	0.956	1.055
<i>Ln - Ln</i>	Empleo**	0,7461	8,45	71,41	0,95	1.923
<i>Ln - Ln</i>	Camas***	0,7088	21,77	473,99	0,99	1.108
<i>Ln - Lineal</i>	Área*	0,0001	3,40	11,59	0,74	23.617
<i>Ln - Lineal</i>	Empleo**	0,0038	1,97	3,89	0,49	516.978
<i>Ln - Lineal</i>	Camas***	0,0080	8,14	66,28	0,94	2.017

\*Área Refiere al área proyectado del piso en m<sup>2</sup>

\*\*Empleo Refiere al empleo total del establecimiento

\*\*\*Camas Refiere al número de camas

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de los hospitales, la modelística muestra que las variables *área proyectada del piso, empleo total y número de camas* tanto de los modelos lineales y no lineales son explicativas del fenómeno de la atracción viajes en grandes generadores urbanos con base en los datos tomados. Los t-test de las variables mostraron la significancia en la variable dependiente en un 95% al estar por encima de 1.96, además los signos que acompañan la variable mostraron la validez conceptual interpretándose como un aumento del área, empleo o número de camas traerá consigo mayor número de viajes.

La Tabla 22 presenta el mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal seleccionados debido a que estos presentaron un mejor t-test para la variable, un F-test mayor para el

modelo y un mayor ajuste de  $R^2$ , además de esto, se tomó en consideración la aplicabilidad del modelo, siendo más sencilla la obtención del número de camas sobre mediciones específicas del *área proyectada de piso*.

**Tabla 22 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para hospitales**

Modelos	Variable empleada	Coefficiente	t-test	F-test	$R^2$	$\beta$
<i>Lineal</i>	Camas*	0,158358	4,511	20,350	0,836	
Ln - Ln	Camas*	0,7088	21,77	473,99	0,99	1.108

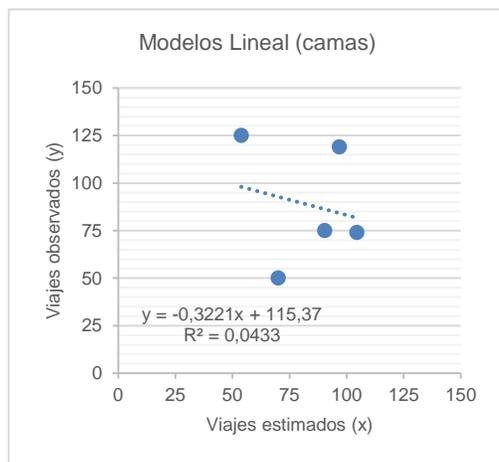
\*Camas Refiere al número de camas presentes en el establecimiento

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los modelos lineales, la variable que obtuvo mayor poder explicativo fue *camas* con una significancia de 4,51 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos lineales este modelo presenta un mayor F-Test junto a un  $R^2$  más ajustado a los datos. Para el caso del mejor modelo no lineal, la misma variable (*camas*) obtuvo una significancia de 21.77 y signo positivo del coeficiente, el F-test de este modelo presenta un valor de 473.99 en comparación al modelo con la variable *área* con un valor de 904.99, como se observa es un valor menor en un 48% con respecto a la variable *área*. Sin embargo, se elige el modelo con variable *camas* ya que la variable es más fácil de obtener en un caso aplicado y menos susceptible a errores de medición que la variable *área*, la cual refiere al *área proyectada* del establecimiento, además de esto los valores presentan un ajuste igual al 95% de las observaciones. Una comparación de los dos modelos seleccionados, modelo lineal y no lineal, el modelo no lineal presenta un mayor F-test, con un valor de 473.99 contra un valor de 20.350 el modelo lineal. Los valores de  $R^2$  muestran un buen ajuste a los datos con el 83.6% para el modelo lineal y un 99.1 % en el modelo no lineal.

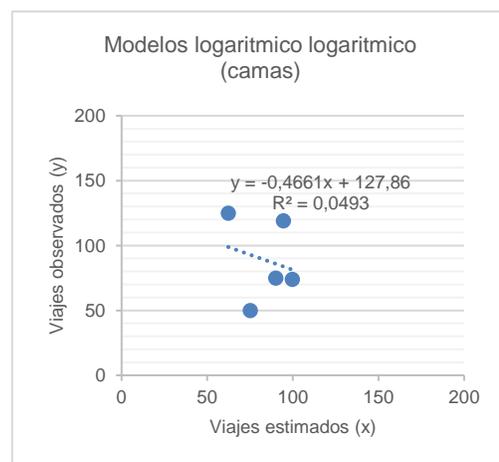
Se estimó también el error cuadrático medio RMSE (por sus siglas en ingles *root mean square error*) que alcanza un valor de cero y una recta de 45° cuando los valores estimados de los viajes se ajusten perfectamente a los valores observados (generalmente esto no sucede en casos aplicados). Por consiguiente, el menor valor será el más aceptado cuando se tratan de comparar los modelos. La Figura 39 muestra la comparación entre los viajes estimados y los viajes observados para el caso del modelo lineal y no lineal elegidos.

**Figura 39. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes hoteles con base en modelo lineal y el modelo In-In**



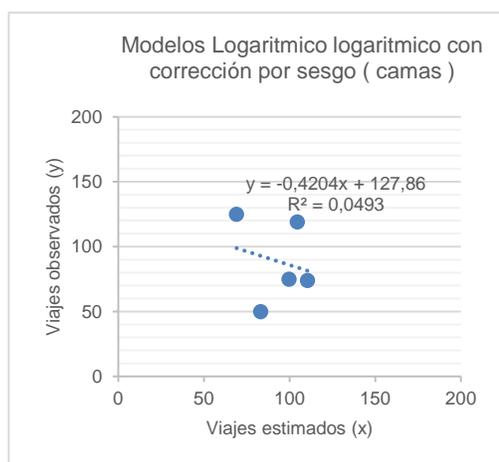
Viajes observados	Viajes estimados
125	53,8
50	70,0
119	96,8
75	90,4
74	104,5
443	415,5

**RMSE 37.75**



Viajes observados	Viajes estimados
125	62,3
50	75,0
119	94,3
75	89,9
74	99,6
443	421,2

**RMSE 34.78**



Viajes Observados	Viajes estimados
125	69,0
50	83,1
119	104,6
75	99,7
74	110,5
443	466,9

**RMSE 39.93**

Fuente: Elaboración propia

La comparación de los viajes estimados versus los viajes observados del modelo lineal y no lineal muestra que el modelo logarítmico que emplea la variable *camas* sin corrección por sesgo tiene un mejor ajuste debido a que la raíz cuadrada de sus errores es más cercana a cero; cabe recordar que en un caso ideal el valor del RMSE sería igual a cero, significando esto un ajuste perfecto entre los valores observados y los estimados.

La Ecuación 35 muestra la formulación del mejor modelo lineal con base en los datos para el caso de grandes hospitales empleando la variable *camas*.

$$FTA = 0.158 \text{ camas} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde,

*FTA* = viajes de carga atraídos

*Camas* = número de camas

Con base en la Ecuación 36 el mejor modelo *no lineal* encontrado para el caso de grandes hospitales es:

$$FTA = 1.108 \times e^{(0.7008 \ln(\text{camas}))} \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde,

*FTA* = viajes de carga atraídos

*camas* = número de camas

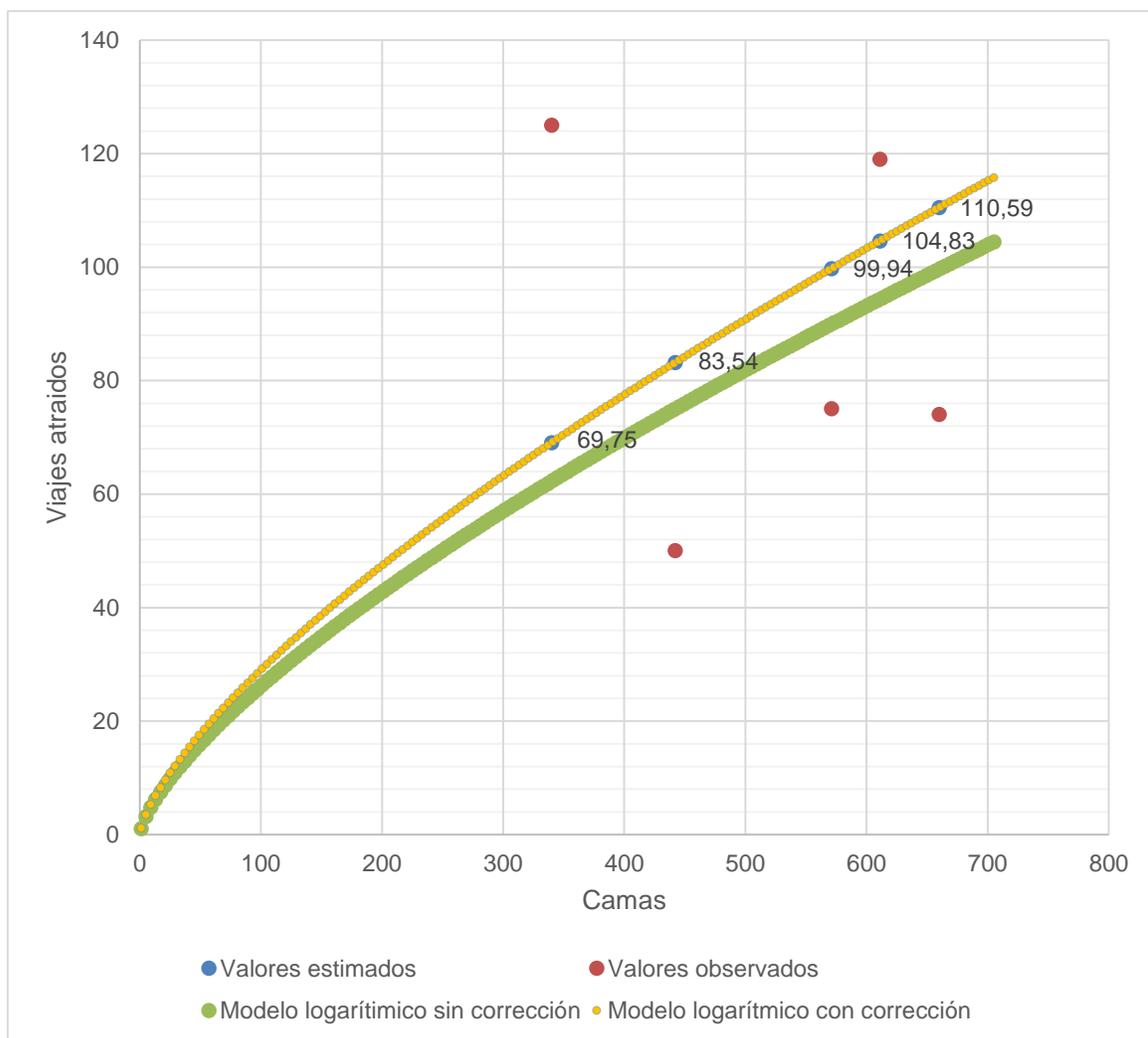
$$\beta = e^{\frac{\sigma^2}{2}}$$

$\beta_1$  = coeficiente del modelo

Que correspondiente a un modelo Ln-Ln empleando la corrección por sesgo.

La representación gráfica del modelo empleando la variable *camas* se muestra en la Figura 40, en ella se observa el modelo no lineal con corrección por sesgo, el modelo no lineal sin corrección por sesgo y los datos tanto observados como no observados.

**Figura 40. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable camas**



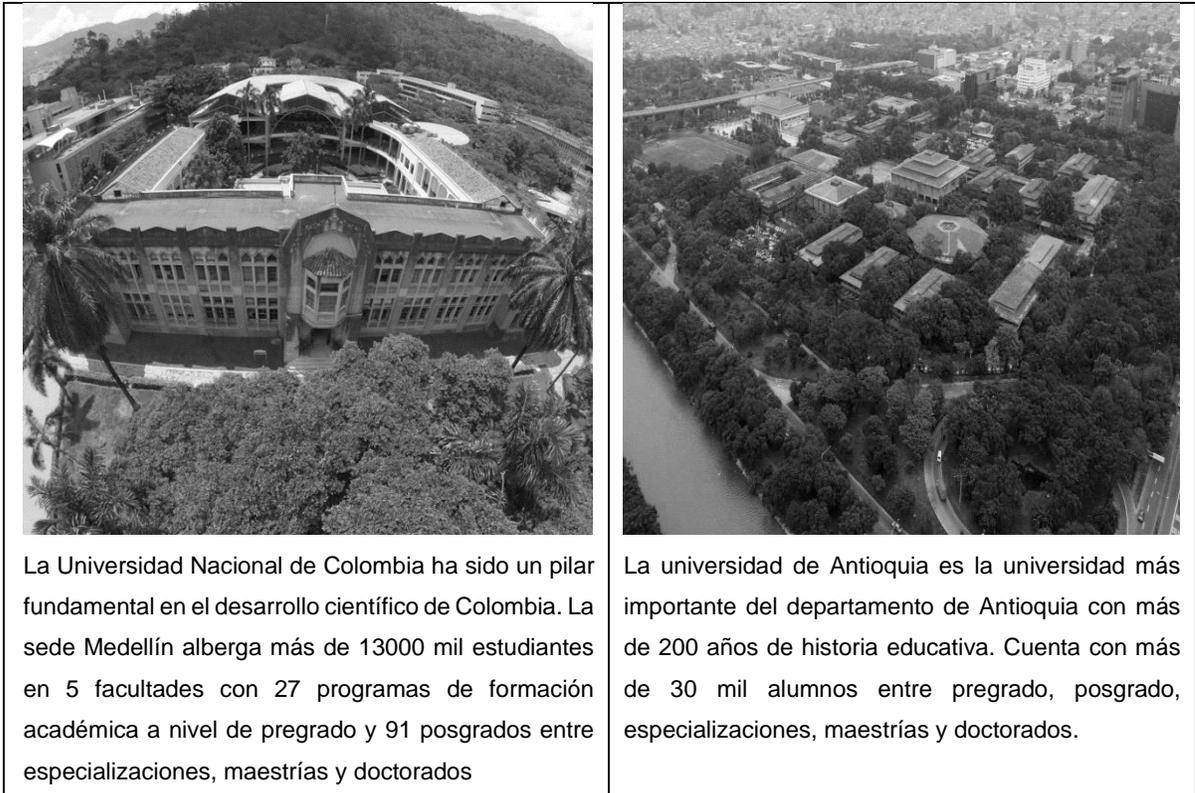
Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.5 Grandes universidades

Las grandes universidades en zonas urbanas generan una gran cantidad de viajes debido a la población de estudiantes, profesores y personal auxiliar, los cuales demandan productos alimenticios, insumos de papelería, limpieza, entre otros. Esta demanda de bienes deriva en la atracción de viajes de mercancías. Estos insumos llegan al establecimiento provenientes de toda el Área Metropolitana del Valle de Aburrá de sectores mayoristas y minoristas, de establecimientos especializados en distribución de material para laboratorios, material para papelerías y obras de adecuación internas. La

Figura 41 muestra dos universidades tomadas como referente de grandes generadores de carga en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

**Figura 41. Ejemplo de Universidades referentes como grandes generadores de viajes de carga *Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y Universidad de Antioquia***



**Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2020 Universidad de Antioquia , 2020**

En este trabajo se evaluaron 5 universidades, en las cuales se obtuvo información específica sobre las variables: *número de viajes, número de estudiantes, número de establecimientos comerciales y área de piso proyectada*. El número de viajes de carga fue obtenido mediante comunicación directa con los centros educativos, considerando el número de viajes de mercancías que tienen lugar durante un día típico, con esto se logró obtener la variable independiente viajes de carga. Similarmente, con base en la información disponible en las oficinas de registro de cada uno de dichas universidades se obtuvo la cantidad de estudiantes en cada establecimiento educativo. Con ayuda de información geográfica satelital se estimó el área proyectada en piso en m<sup>2</sup>. Por último, mediante visitas de campo se determinó el número de establecimientos comerciales.

---

Debido a que las universidades presentan una gran demanda de productos, se consideran en sí centros atractores, y no centros productores de viajes de mercancías. Por tal motivo, para este tipo de establecimientos, esta investigación enfocó en la estimación modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga para 5 grandes universidades (Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana, EAFIT, Universidad de Antioquia). Para los modelos no lineales se aplicó la corrección por *bias correction* que busca reducir el error asociado al cambio de escala en el logaritmo natural de la variable dependiente.

Se estimaron modelos simples y modelos múltiples con la variable área proyectada en piso, número de estudiantes, cantidad de establecimientos, las cuales fueron las únicas variables que el investigador logró obtener en su proceso de recolección de información. La Tabla 23 muestra los modelos elegidos que resultaron ser estadísticamente significativos y conceptualmente válidos, otros modelos evaluados como los modelos múltiples y modelos con constante diferente de cero perdían validez estadística. En la tabla se observa: la variable asociada al modelo, el coeficiente de la variable, el t-test para la variable, el F-test para la comparación de modelos, y el coeficiente  $\beta$  relacionado al *bias correction* para modelos no-lineales (para los que aplica).

Tabla 23 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en universidades

Modelos	Variable empleada	Coficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	β
<i>Lineal</i>	Área*	0,000231	3,340	11,16	0,74	
<i>Lineal</i>	Estudiantes**	0,003685	5,561	30,93	0,88	
<i>Lineal</i>	Establecimientos***	1,462060	6,641	44,10	0,92	
<i>Lineal - Ln</i>	Área*	3,901220	4,832	23,35	0,85	
<i>Lineal - Ln</i>	Estudiantes**	5,015810	5,054	25,54	0,86	
<i>Lineal - Ln</i>	Establecimientos***	13,914700	5,720	32,72	0,89	
<i>Ln - Ln</i>	Área*	0,311825	16,125	260,03	0,98	1.146
<i>Ln - Ln</i>	Estudiantes**	0,399017	18,122	328,40	0,99	1.114
<i>Ln - Ln</i>	Establecimientos***	1,094000	26,920	724,66	0,99	1.050
<i>Ln - Lineal</i>	Área*	0,000019	5,673	32,18	0,89	2.699
<i>Ln - Lineal</i>	Estudiantes**	0,000287	11,299	127,67	0,97	1.314
<i>Ln - Lineal</i>	Establecimientos***	0,111877	11,239	126,30	0,97	1.318

\*Área Refiere al área proyectado del piso en m<sup>2</sup>

\*\*Estudiantes Refiere al número de estudiantes

\*\*\*Establecimientos Refiere al número de establecimientos dentro de la Universidad

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las universidades, la modelística muestra que, con base en los datos recolectados, las variables *área proyectada del piso*, *cantidad de estudiantes* y *número de establecimientos* tanto en los modelos lineales como en los no lineales son explicativas del fenómeno de la atracción viajes en universidades consideradas grandes generadoras urbanas de carga. Los t-test de las variables mostraron la significancia en la variable dependiente en un 95% al estar por encima de 1.96, además los signos que acompañan la variable mostraron la validez conceptual interpretándose como un aumento del área, cantidad de estudiantes o cantidad de establecimientos, se ve reflejado en un aumento de viajes de carga. La Tabla 24 muestra el mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal seleccionados debido a que presentaron un mejor t-test para la variable, un F-test mayor para el modelo y un mayor ajuste de R<sup>2</sup>, además de esto, un aspecto relevante considerado durante la selección de estos modelos fue la aplicabilidad y la facilidad de obtención de la información requerida.

**Tabla 24 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para universidades**

<b>Modelos</b>	<b>Variable empleada</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>t-test</b>	<b>F-test</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>β</b>
<i>Lineal</i>	Estudiantes*	0,003685	5,56	30,93	0,88	
Ln - Ln	Estudiantes*	0,399017	18,12	328,40	0,99	1,114

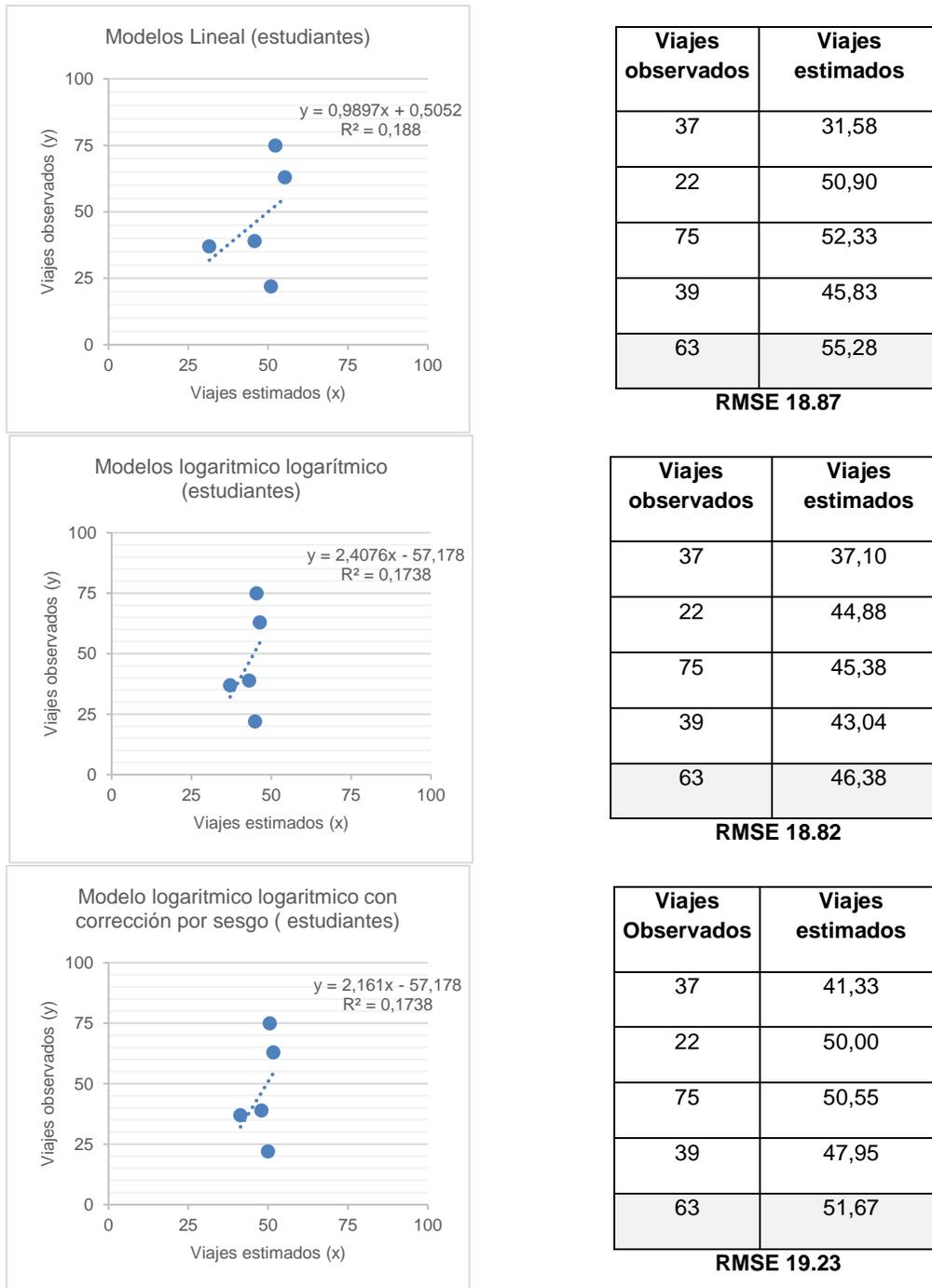
\*Estudiantes Refiere al número de estudiantes matriculados en la universidad en esa sede

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de los modelos lineales, la variable elegida mediante el criterio de selección anteriormente mencionado fue *Estudiantes* con una significancia de 5,56 y signo positivo del coeficiente. De manera similar, en el caso de la selección del mejor modelo no lineal, la misma variable (*Estudiantes*) obtuvo una significancia de 25,54 y signo positivo del coeficiente, el F-test del modelo con la variable *estudiantes* presenta un valor de 328,40 en comparación al modelo *establecimientos* con un valor de 724,66. Como se observa en ambos casos, modelo lineal y no lineal, el modelo con mejor ajuste se obtienen mediante la variable *establecimientos*, sin embargo, debido a las dificultades en la obtención de la misma, y la variabilidad en el tipo de establecimientos internos observados en las universidades, se selecciona el modelo basado en el número de estudiantes. La comparación del modelo lineal y no lineal seleccionados, el que obtuvo un mayor F-test fue el modelo no lineal con un valor de 328,40 contra un valor de 25,54 que obtuvo el modelo lineal. Los valores de R<sup>2</sup> muestran un buen ajuste a los datos con el 99 % para el modelo no lineal y un 88% para el modelo lineal.

Se estimó también el error cuadrático medio RMSE (*por sus siglas en ingles root mean square error*) que alcanza un valor de cero y una recta de 45° cuando los valores estimados de los viajes se ajusten perfectamente a los valores observados (generalmente esto no sucede en casos aplicados). Por consiguiente, el menor valor será el más aceptado cuando se tratan de comparar ajustes en los modelos. La Figura 42 muestra la comparación entre los viajes estimados y los viajes observados para el caso del modelo lineal y no lineal.

Figura 42. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes universidades con base en Modelo lineal y el modelo ln-ln



Fuente: Elaboración propia

La comparación de los viajes estimados versus los viajes observados del modelo lineal y no lineal muestra que el modelo no lineal que emplea la variable *estudiante* tiene un mejor ajuste debido a que la raíz cuadrada de sus errores es más cercana a cero, cabe recordar

que en un caso ideal el valor del RMSE sería igual a cero significando un ajuste perfecto entre los valores observados y los estimados.

La Ecuación 37 muestra la formulación del mejor modelo *lineal* con base en los datos para el caso de grandes universidades empleando la variable área.

$$FTA = 0.003685 \text{ Estudiantes} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$\text{Estudiantes} = \text{número de estudiantes}$

Con base en la Ecuación 38 el mejor modelo *no lineal* encontrado para el caso de grandes universidades es:

$$FTA = 1.114 \times e^{(0.399 \ln(\text{estudiantes}))} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$\text{Estudiantes} = \text{número de estudiantes matriculados en esa sede}$

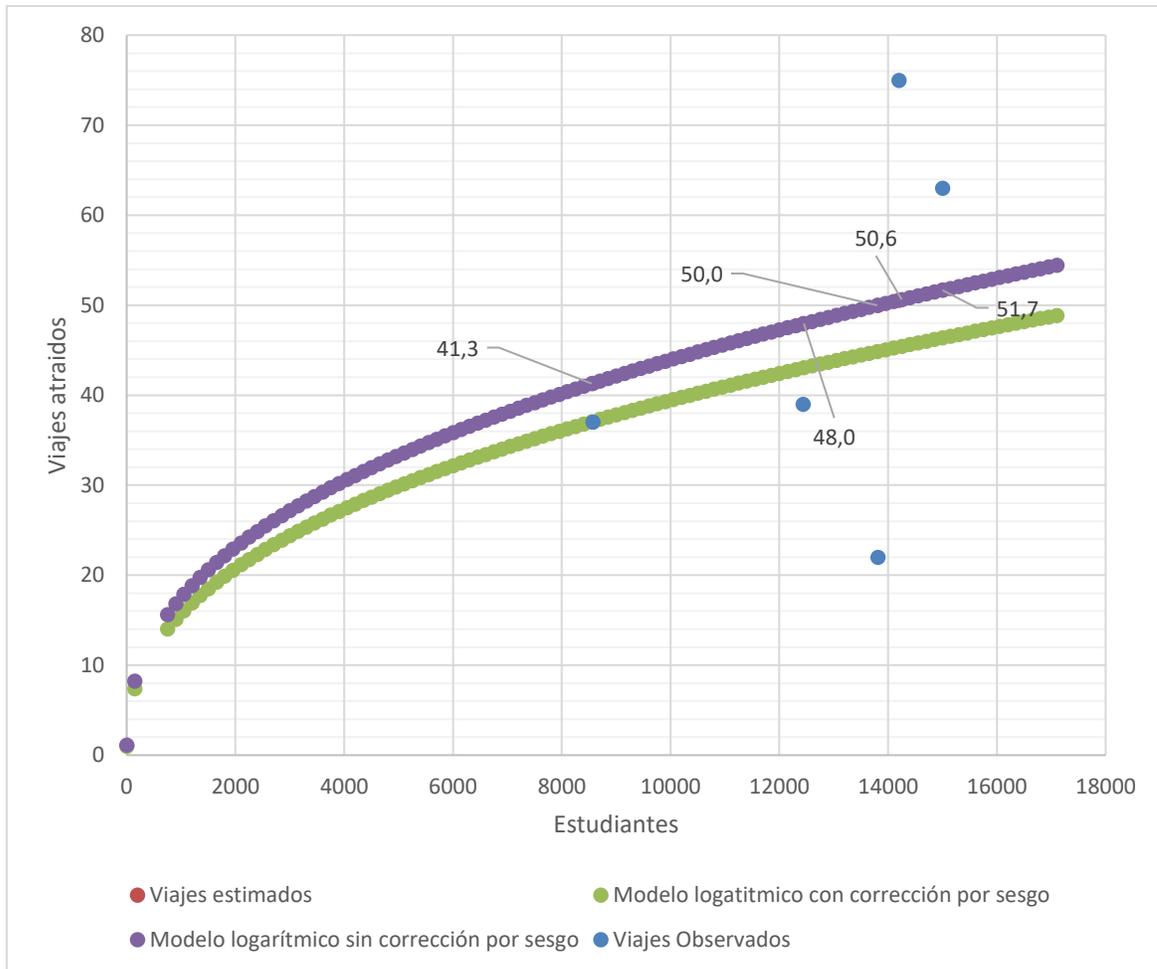
$$\beta = e^{\frac{\sigma^2}{2}}$$

$\beta_1 = \text{coeficiente del modelo}$

Que correspondiente a un modelo Ln-Ln empleando la corrección por sesgo.

La representación gráfica del modelo empleando la variable estudiante se muestra en la Figura 43. En ella se observa el modelo no lineal con corrección por sesgo, en modelo no lineal sin corrección por sesgo y los datos tanto observados como no observados.

Figura 43. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable estudiante

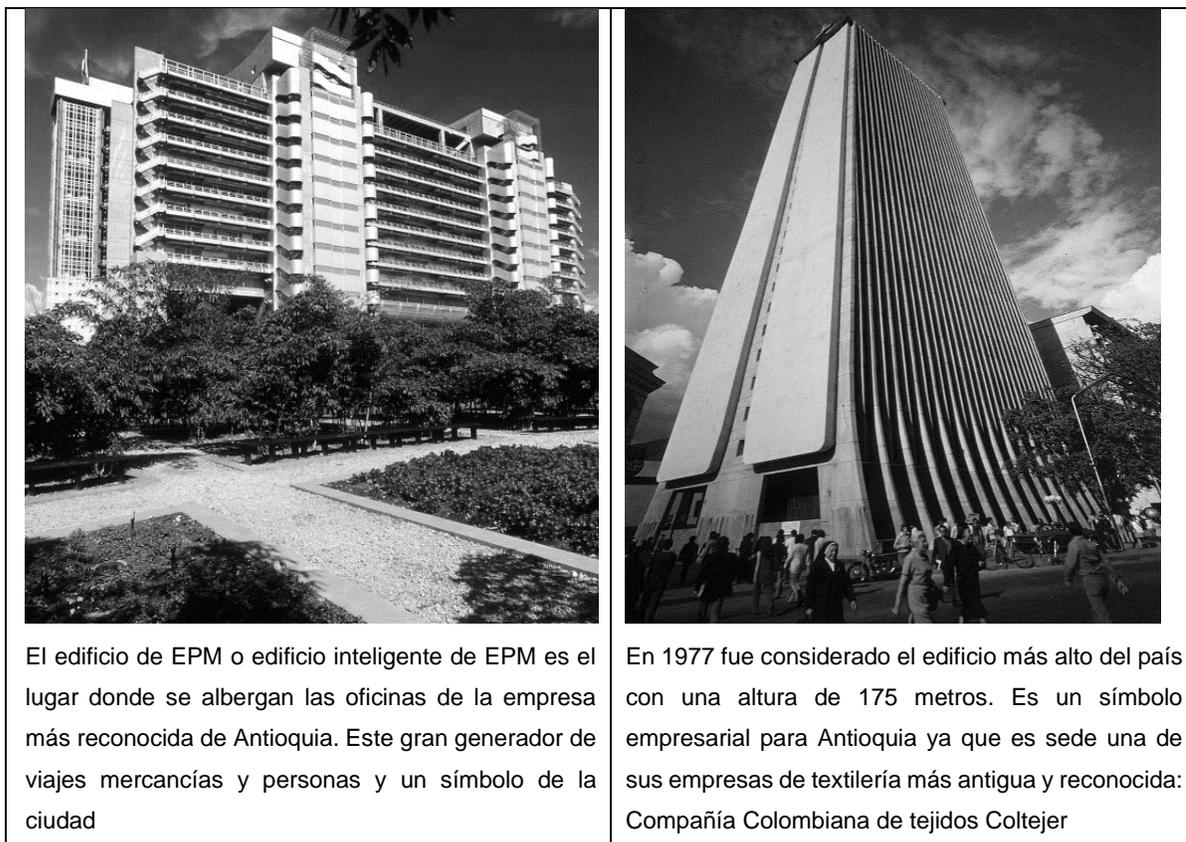


Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.6 Grandes edificios

Los grandes edificios atraen unos flujos constantes de viajes de personas y mercancías para suplir las necesidades y los servicios que generan. Por ejemplo, en un gran edificio se puede encontrar cafeterías, restaurantes, papelerías, bibliotecas, oficinas, entre otros. Los insumos llegan provenientes de centros de distribución al por mayor y al por menor de toda el área metropolitana. Es de anotar que un proveedor puede repartir a varios edificios y oficinas en un mismo sector. La Figura 44 muestra dos grandes edificios que han sido referentes por su gran tamaño, su historia y los servicios que ofrecen; es de recordar que investigaciones en el tema (Jaller et al., 2015) establecen que un modo para identificar los grandes generadores es precisamente porque son sitios de interés.

**Figura 44. Ejemplo de grandes edificios referentes como grandes generadores de viajes de carga edificio EPM y Coltejer**



El edificio de EPM o edificio inteligente de EPM es el lugar donde se albergan las oficinas de la empresa más reconocida de Antioquia. Este gran generador de viajes mercancías y personas y un símbolo de la ciudad

En 1977 fue considerado el edificio más alto del país con una altura de 175 metros. Es un símbolo empresarial para Antioquia ya que es sede una de sus empresas de textilería más antigua y reconocida: Compañía Colombiana de tejidos Coltejer

**Fuente: (Empresas Públicas de Medellín, 2020) (Centro de Medellín, 2020)**

En este trabajo se evaluaron 4 grandes edificios: *Edificio de Empresas Públicas, Edificio de Bancolombia, Edificio Coltejer y Edificio de la Alcaldía de Medellín en la Alpujarra*. Para estos grandes edificios, se obtuvo información referente al número de viajes de carga recibida, número de empleados, y área, esta información se recolectó con base en datos obtenidos del personal del edificio mediante encuestas personales.

Al igual que en el caso de hospitales y universidades, estos edificios presentaron una gran demanda de productos, debido al consumo interno de trabajadores y visitantes. Sin embargo, la producción de viajes de carga es mínima. Por tal motivo, se estimaron *modelos lineales y no lineales* de atracción de viajes de carga. Para los modelos no lineales se aplicó la corrección por *bias correction* que busca reducir el error asociado al cambio de escala en el logaritmo natural de la variable dependiente.

Se estimaron modelos simples y modelos múltiples con la variable área construida, y empleo. La Tabla 25 muestra los modelos elegidos que resultaron ser estadísticamente significativos y conceptualmente válidos, otros modelos evaluados como los modelos múltiples y modelos con constante diferente de cero perdían validez estadística. En la tabla se observa: la variable asociada al modelo, el coeficiente de la variable, el t-test para la variable, el F-test para la comparación de modelos, y el coeficiente  $\beta$  relacionado al *bias correction* para modelos no-lineales (para los que aplica).

**Tabla 25 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en hoteles**

Modelos	Variable empleada	Coeficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	$\beta$
<i>Lineal</i>	Área*	0,000366	4,70	22,04	0,88	
<i>Lineal</i>	Empleo**	0,010332	4,80	23,09	0,88	
<i>Lineal - Ln</i>	Área*	3,268390	6,08	36,95	0,92	
<i>Lineal - Ln</i>	Empleo**	4,533730	5,77	33,28	0,92	
<i>Ln - Ln</i>	Área*	0,315183	21,30	453,90	0,99	1.056
<i>Ln - Ln</i>	Empleo**	0,438854	20,23	409,20	0,99	1.063
<i>Ln - Lineal</i>	Área*	0,000033	3,99	15,89	0,84	3.819
<i>Ln - Lineal</i>	Empleo**	0,000990	6,75	45,57	0,94	1.684

\*Área Refiere al área proyectado del piso en m<sup>2</sup>

\*\*Empleo Refiere a la cantidad de empleados

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los edificios, la modelística muestra que, con base en los datos recolectados, las variables *área* y *empleo total* tanto de los modelos lineales y no lineales son explicativas del fenómeno de la atracción viajes en grandes edificios urbanos. Los t-test de las variables mostraron la significancia en la variable dependiente en un 95% al estar por encima de 1.96; además, los signos que acompañan la variable mostraron la validez conceptual, considerando que esto implica que un aumento en el área construida o empleo traerá consigo mayor número de viajes. Considerando que, en ambos casos, los modelos que utilizan la variable empleado y área, tienen variables significativas y los coeficientes conceptualmente válidos, la selección de modelos se realiza con base en la facilidad de obtención de la información. La Tabla 26 muestra el mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal seleccionados debido a que estos presentaron un mejor t-test para la variable, un F-test mayor para el modelo y un mayor ajuste de R<sup>2</sup>, además de esto, se tomó en consideración la aplicabilidad del modelo y facilidad de recolección de este tipo de información en posibles casos aplicados.

**Tabla 26 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para edificios**

<b>Modelos</b>	<b>Variable empleada</b>	<b>Coficiente</b>	<b>t-test</b>	<b>F-test</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>β</b>
<i>Lineal</i>	Empleo*	0,010332	4,80	23,09	0,88	
Ln - Ln	Empleo*	0,438854	20,23	409,20	0,99	1.063

\*Empleo Refiere al número de empleados

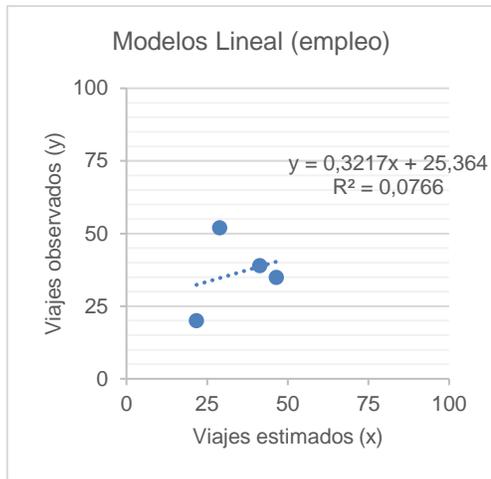
**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de los modelos lineales, el modelo seleccionado es basado en el *empleo* con una significancia de 4,805 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos lineales presenta un F-test de 23,09 junto a un R<sup>2</sup> 0,88, si bien la variable área para los modelos no lineales presento buena significancia en un caso práctico puede que no sea tan fácil de obtener. Para el caso del modelo no lineal seleccionado, el modelo basado en el *empleo* obtuvo una significancia de 20,23 y signo positivo del coeficiente, el F-test del modelo con la variable empleo presenta un valor de 409,20. La comparación entre el modelo lineal y no lineal evidencia que el modelo no lineal presenta un mayor F-test, adicionalmente, Los valores de R<sup>2</sup> muestran un mejor ajuste a los datos con el 99% para el modelo no lineal y un 88% para el modelo lineal.

Se estimó también el error cuadrático medio RMSE (por sus siglas en ingles *root mean square error*) que alcanza un valor de cero y una recta de 45° cuando los valores estimados de los viajes se ajusten perfectamente a los valores observados (generalmente esto no sucede en casos aplicados). Por consiguiente, el menor valor será el más aceptado cuando se tratan de comparar los modelos.

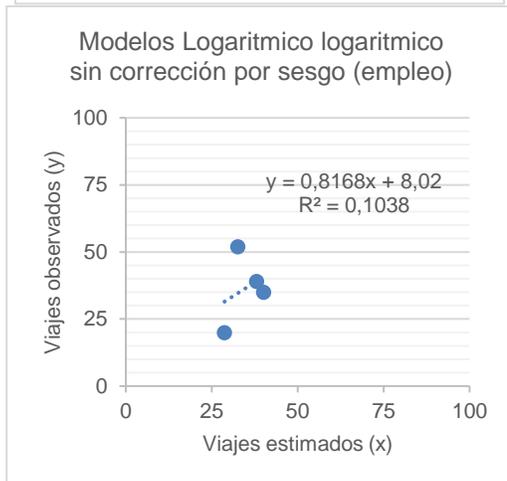
La Figura 45 muestra la comparación entre los viajes estimados y los viajes observados para el caso del modelo lineal y no lineal.

Figura 45. Comparación de viajes estimados vs viajes observados para grandes edificios con base en Modelo lineal y el modelo In-In



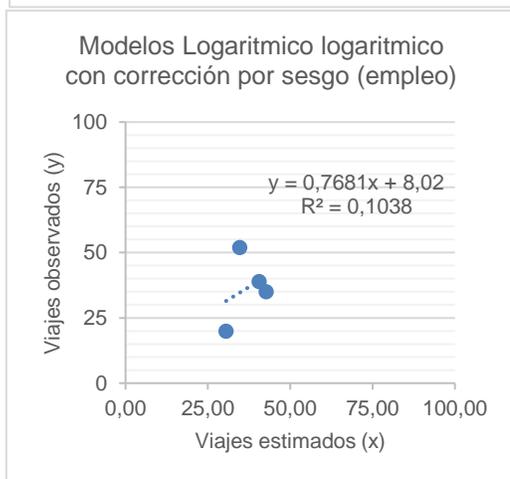
Viages	Empleo
20	21,70
52	28,93
35	46,49
39	41,33
146	138,45

RMSE 12.96



Viages	Empleo
20	28,71
52	32,57
35	40,11
39	38,09
146	139,47

RMSE 10.95



Viages	Empleo
20	30,52
52	34,63
35	42,65
39	40,50
146	148,31

RMSE 10.87

Fuente: Elaboración propia

La comparación de los viajes estimados versus los viajes observados del modelo lineal y no lineal muestra que el modelo no lineal que utiliza la variable empleo tiene un mejor

ajuste debido a que la raíz cuadrada de sus errores es más cercana a cero, cabe recordar que en un caso ideal el valor del RMSE sería igual a cero significando un ajuste perfecto entre los valores observados y los estimados. También muestra como el error cuadrático medio RMSE disminuye cuando se aplica la corrección por sesgo.

La Ecuación 39 muestra la formulación del mejor modelo *lineal* con base en los datos para el caso de grandes edificios utilizando la variable *empleo*.

$$FTA = 0.010332 \text{ Empleo} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde,

*FTA* = viajes de carga atraídos

*Habitaciones* = número de empleados

Con base en la Ecuación 40 el mejor modelo *no lineal* encontrado para el caso de grandes edificios es:

$$FTA = 1.063 \times e^{(0.438 \times \ln(\text{empleados}))} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde,

*FTA* = viajes de carga atraídos

*Habitaciones* = número de habitaciones

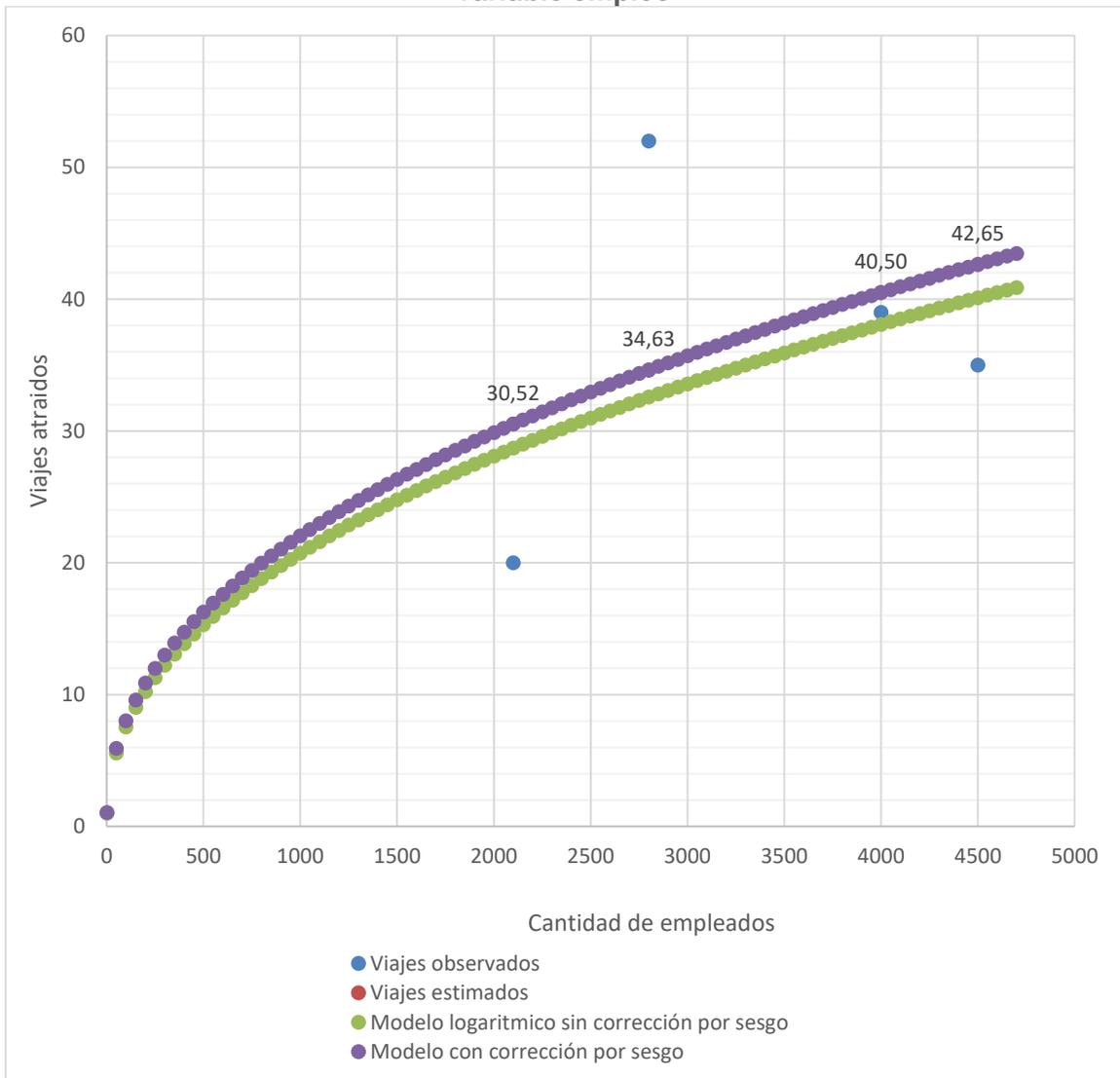
$$\beta = e^{\frac{\sigma^2}{2}}$$

$\beta_1$  = coeficiente del modelo

Que correspondiente a un modelo Ln-Ln empleando la corrección por sesgo.

La representación gráfica del modelo basado en la variable empleo se muestra en la Figura 46, en ella se observa el modelo no lineal con corrección por sesgo, en modelo no lineal sin corrección por sesgo y los datos tanto observados como no observados.

Figura 46. Modelo no lineal de viajes estimados vs viajes observados utilizando la variable empleo



Fuente: Elaboración propia

#### 4.9.7 Grandes plazas de mercado

Las grandes plazas de mercado localizadas en zonas urbanas, en general, son consideradas tanto productores como atractores de viajes de carga. En el caso de la atracción de viajes de carga, ésta se debe principalmente a la recepción de productos y materia prima necesarios para surtir los almacenes y tiendas en su interior; por otro lado, estas grandes plazas de mercado sirven para surtir no solo al consumidor individual sino

también a otras tiendas y negocios de la zona, por lo cual se requiere de un nuevo traslado de los bienes y productos derivando en la producción de viajes de carga.

La Figura 47 muestra dos de las plazas seleccionadas en este estudio como referentes de grandes generadores de viajes de carga en el AMVA y que cumplen con la condición establecida de presentar más de 20 viajes de carga/día.

**Figura 47. Ejemplo de plazas de mercado referentes como grandes generadores de viajes de carga Central Mayorista de Antioquía y Plaza Minorista de Medellín**



Entrada principal a la central mayorista de Antioquia, el periodo de máxima demanda se estima entre 1:00 am y 3:00 am del día.



Panorámica de la plaza minorista de Medellín donde se evidencia el conflicto de las zonas de parqueo con las de carga y descargue de productos.

**Fuente:** Universidad Nacional de Colombia, 2018b

En este trabajo se evaluaron 198 establecimientos localizados dentro de las plazas de mercado ubicados en el Valle de Aburrá, de las cuales se obtuvo información específica sobre las variables: *la carga en kilogramos, número de empleados y área proyectada en piso en metros cuadrados*. El número de viajes de carga fue obtenido a partir de la encuesta de grandes generadores realizado en el estudio sobre el transporte de carga, en ésta, los datos acerca de la carga transportada fueron obtenidos mediante comunicación directa con los establecimientos ubicados al interior de las plazas de mercado.

Como se mencionó anteriormente las plazas de mercado son consideradas centros tanto productores como atractores de viajes de carga. Esta investigación se enfocó en la estimación de modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga para los 198 establecimientos analizados.

Se estimaron modelos simples y modelos múltiples con las variables *Carga en kilogramos*, *número de empleados* y *área proyectada* en piso en metros cuadrados. En la Tabla 27 se observa: la variable asociada al modelo, el coeficiente de la variable, el t-test para la variable, el F-test para la comparación de modelos, y el coeficiente  $\beta$  relacionado al *bias correction* para modelos no-lineales (para los que aplicaba).

**Tabla 27 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en plazas de mercado**

Modelos	Variable empleada	Coeficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	$\beta$
<i>Lineal</i>	Carga*	0,000092	7,14	51,00	0,2065	
<i>Lineal</i>	Empleo**	0,133282	7,62	58,10	0,2286	
<i>Lineal</i>	Área***	0,004649	4,90	23,98	0,109	
<i>Lineal - Ln</i>	Carga*	0,273924	15,18	230,48	0,5404	
<i>Lineal - Ln</i>	Empleo**	0,958085	10,77	115,92	0,3716	
<i>Lineal - Ln</i>	Área***	0,432458	11,86	140,74	0,418	
<i>Ln - Ln</i>	Carga*	0,028704	2,33	5,43	0,027	1.9276
<i>Ln - Ln</i>	Empleo**	0,049149	0,94	0,87	0,0044	1.9570
<i>Ln - Ln</i>	Área***	0,003645	0,16	0,03	0,0001	1.9627
<i>Ln - Lineal</i>	Carga *	0,000025	3,77	14,19	0,0675	1.8756
<i>Ln - Lineal</i>	Empleo **	0,010484	1,12	1,27	0,0064	1.9542
<i>Ln - Lineal</i>	Área***	0,000344	0,73	0,53	0,00271	1.9594

\*Carga Refiera a la carga en Kg que envía el establecimiento

\*\*Empleo Refiere a la cantidad de empleados que tiene cada establecimiento

\*\*\* Área Refiere al área en m<sup>2</sup> de establecimientos

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de los establecimientos en las grandes plazas, la modelística muestra que las variables *carga en kilogramos*, *número de empleados* y *área proyectada* en piso en los modelos lineales, lineal-logarítmico y logarítmico-lineal son explicativas del fenómeno de la atracción viajes en grandes generadores urbanos con base en los datos recopilados. Los t-test de las variables mostraron la significancia en la variable dependiente mayor o igual al 95% al contar con valores superiores a 1.96 salvo para el modelo logarítmico-logarítmico con la variable *Empleo* y la variable *Área proyectada en piso*. Los signos que acompañan la variable mostraron la validez conceptual interpretándose como un aumento en la cantidad de carga y número de empleados genera un aumento en los viajes de carga.

La Tabla 28 presenta el mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal seleccionados considerando que presentaran el mejor t-test para la variable, un F-test mayor para el modelo y un mayor ajuste de R<sup>2</sup>.

**Tabla 28 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para grandes plazas de mercado**

Modelos	Variable empleada	Coficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	β
<i>Lineal</i>	Empleo*	0,133282	7,6221	58,0969	0,22864	
<i>Lineal - Ln</i>	Carga**	0,273924	15,182	230,478	0,54042	
Empleo*	Refiere a la cantidad de empleados que tiene cada establecimiento					
Carga**	Refiera a la carga en Kg que recibe el establecimiento					

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de los modelos lineales, la variable que obtuvo mayor poder explicativo fue empleo con una significancia de 7,62 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos lineales éste modelo presenta un F-test mayor junto a un R<sup>2</sup> más ajustado a los datos. Para el caso del mejor modelo no lineal, la variable carga en kg obtuvo un coeficiente de 0.27394 con signo positivo. El F-test del modelo con la variable carga en kg presenta un valor de 230.48 el cual resulta superior en comparación al modelo empleados cuyo valor es 58.096, por otro lado, los valores de R<sup>2</sup> muestran un buen ajuste a los datos con el 54% para el modelo no lineal mientras que el caso del modelo lineal se presenta un ajuste a los datos de 22%.

La Ecuación 41 muestra la formulación del mejor modelo *lineal* con base en los datos para el caso de plazas de mercado empleando la variable empleados.

$$FTA = 0,133282 \text{ empleo} \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$\text{Empleados} = \text{número de empleados del establecimiento}$

Con base en la Ecuación 42 el mejor modelo *lineal-logarítmico* encontrado para el caso de grandes plazas de mercado es:

$$FTA = 0.2732 \ln(\text{carga}) \quad \text{Ecuación 42}$$

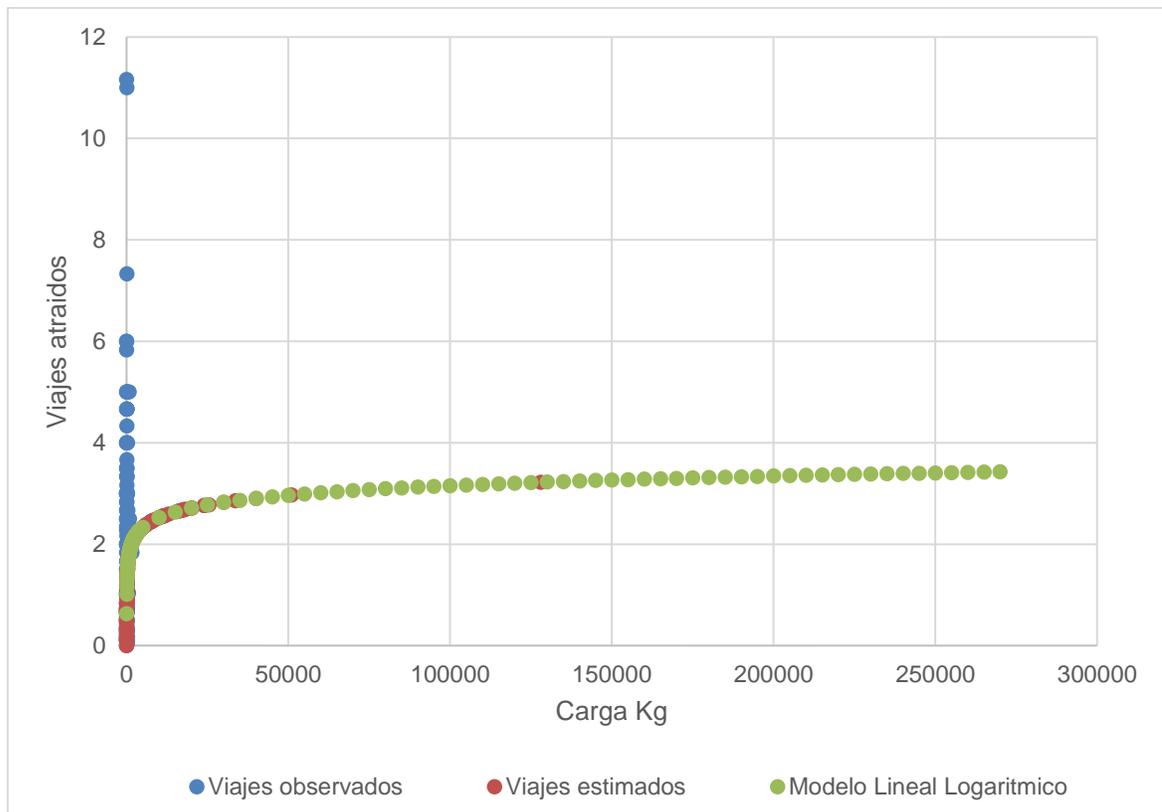
Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$\text{Carga en kg} = \text{carga en kg transportada desde el generador}$

La representación gráfica del modelo empleando la variable carga en kg se muestra en la Figura 48. En ella se observa el mejor modelo no lineal encontrado, los viajes observados y los viajes estimados.

**Figura 48. Modelo lineal-In de viajes estimados vs viajes observados empleando la variable carga en kg**



**Fuente:** Elaboración propia

De manera particular para la Plaza Minorista de Medellín, se estimaron modelos simples y modelos múltiples con las variables *Carga en kilogramos*, *número de empleados* y *área proyectada* en piso en metros cuadrados. En la Tabla 29 se observa: la variable asociada al modelo, el coeficiente de la variable, el t-test para la variable, el F-test para la comparación de modelos, y el coeficiente  $\beta$  relacionado al *bias correction* para modelos no-lineales (para los que aplicaba).

**Tabla 29 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga para la Plaza Minorista de Medellín**

<b>Modelos</b>	<b>Variable empleada</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>t-test</b>	<b>F-test</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>β</b>
Lineal	Carga*	0.000256	3.98	15.82	0.139	
Lineal	Empleo**	0.306041	6.09	37.11	0.2746	
Lineal	Área***	0.058258	7.01	49.21	0.3343	
Lineal - Ln	Carga*	0.345049	10.74	115.41	0.5408	
Lineal - Ln	Empleo**	1.30712	6.99	48.91	0.3329	
Lineal - Ln	Área***	0.685122	9.32	86.91	0.47	
Ln - Ln	Carga*	0.048571	2.50	6.26	0.0601	1.8347
Ln - Ln	Empleo**	0.137208	1.43	2.06	0.0206	1.8821
Ln - Ln	Área***	0.685122	9.32	86.91	0.47	6.8134
Ln - Lineal	Carga *	0.000075	2.63	6.96	0.0663	1.8273
Ln - Lineal	Empleo **	0.022737	0.92	0.84	0.0085	1.8968
Ln - Lineal	Área***	0.0102064	2.45	5.98	0.057	1.8377

\*Carga Refiera a la carga en Kg que envía el establecimiento

\*\*Empleo Refiere a la cantidad de empleados que tiene cada establecimiento

\*\*\* Área Refiere al área en m<sup>2</sup> de establecimientos

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de la Plaza Minorista de Medellín, la modelística muestra que las variables *carga en kilogramos*, *número de empleados* y *área proyectada en piso* en los modelos lineales, lineal-logarítmico y logarítmico-lineal son explicativas del fenómeno de la atracción viajes en grandes generadores urbanos con base en los datos recopilados. Los t-test de las variables mostraron la significancia en la variable dependiente mayor o igual al 95% al contar con valores superiores a 1.96 salvo para el modelo logarítmico-logarítmico con la variable *Empleo* y la variable *Área proyectada en piso*. Los signos que acompañan la variable mostraron la validez conceptual interpretándose como un aumento en la cantidad de carga y número de empleados genera un aumento en los viajes de carga. La Tabla 30 presenta el mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal seleccionados considerando que presentaran el mejor t-test para la variable, un F-test mayor para el modelo y un mayor ajuste de R<sup>2</sup>.

Tabla 30 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para Plaza Minorista de Medellín

Modelos	Variable empleada	Coficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	β
Lineal	Área***	0.058258	7.01	49.21	0.3343	
Lineal - Ln	Carga*	0.345049	10.74	115.41	0.5408	

Area\* Refiere al área en m<sup>2</sup> de los establecimientos

Carga\*\* Refiera a la carga en Kg que recibe el establecimiento

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los modelos lineales, la variable que obtuvo mayor poder explicativo fue área con una significancia de 7,01 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos lineales éste modelo presenta un F-test mayor junto a un R<sup>2</sup> más ajustado a los datos. Para el caso del mejor modelo no lineal, la variable carga en kg obtuvo mayor poder explicativo con una significancia de 10,74 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos no-lineales éste modelo presenta un F-test mayor junto a un R<sup>2</sup> más ajustado a los datos. Si se compara el modelo lineal y no lineal seleccionados, el que obtuvo un mayor F-test fue el modelo no lineal con un valor de 115.40 contra un valor de 49.21 que obtuvo el modelo lineal. Los valores de R<sup>2</sup> muestran un buen ajuste a los datos con el 54% para el modelo no lineal, mientras que se obtuvo tan solo un 33% de ajuste para el modelo lineal.

La Ecuación 43 muestra la formulación del mejor modelo *lineal* con base en los datos para el caso de plazas de mercado empleando la variable empleados.

$$FTA = 0.058258 \text{ área}$$

Ecuación 43

Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$\text{Área} = \text{refiere la área en m}^2 \text{ de los establecimientos}$

Con base en la Ecuación 44 el mejor modelo *lineal-logaritmico* encontrado para el caso de grandes plazas de mercado es:

$$FTA = 0.345049 \ln(\text{carga})$$

Ecuación 44

Donde,

*FTA = viajes de carga atraídos*

*Carga en kg = carga en kg transportada desde el generador*

En el caso de la Plaza Mayorista, se estimaron modelos simples y modelos múltiples con las variables *Carga en kilogramos*, *número de empleados* y *área proyectada* en piso en metros cuadrados. En la Tabla 31 se observa: la variable asociada al modelo, el coeficiente de la variable, el t-test para la variable, el F-test para la comparación de modelos, y el coeficiente  $\beta$  relacionado al *bias correction* para modelos no-lineales (para los que aplicaba).

**Tabla 31 Modelos lineales y no lineales de atracción de viajes de carga en Plaza Mayorista**

<b>Modelos</b>	<b>Variable empleada</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>t-test</b>	<b>F-test</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b><math>\beta</math></b>
Lineal	Carga*	0.000084	7.8806	62.1031	0.3903	
Lineal	Empleo**	0.106403	6.5751	43.2322	0.3083	
Lineal	Área***	0.004023	4.883	23.8438	0.1973	
Lineal - Ln	Carga*	0.231666	11.884	141.223	0.5928	
Lineal - Ln	Empleo**	0.819338	9.3768	87.9247	0.4755	
Lineal - Ln	Área***	0.34146	9.2441	85.4524	0.4684	
Ln - Ln	Carga*	0.0169	1.0502	1.10285	0.0112	2.0187
Ln - Ln	Empleo**	0.014145	0.2214	0.04901	0.0005	2.0343
Ln - Ln	Área***	0.34146	9.2441	85.4524	0.4684	2.6921
Ln - Lineal	Carga *	0.000022	3.2322	10.4469	0.0972	1.8991
Ln - Lineal	Empleo **	0.008578	0.8352	0.69748	0.0071	2.0246
Ln - Lineal	Área***	0.000229	0.47	0.22	0.0023	2.0317

\*Carga Refiera a la carga en Kg que envía el establecimiento

\*\*Empleo Refiere a la cantidad de empleados que tiene cada establecimiento

\*\*\* Área Refiere al área en m<sup>2</sup> de establecimientos

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de los establecimientos en la Plaza Mayorista, la modelística muestra que las variables *carga en kilogramos*, *número de empleados* y *área proyectada* en piso en los modelos lineales, lineal-logarítmico y logarítmico-lineal son explicativas del fenómeno de la atracción viajes en grandes generadores urbanos con base en los datos recopilados. Los t-test de las variables mostraron la significancia en la variable dependiente mayor o igual al 95% al contar con valores superiores a 1.96 salvo para el modelo logarítmico-logarítmico con la variable *Empleo* y la variable *Área proyectada en piso*. Los signos que acompañan la variable mostraron la validez conceptual interpretándose como un aumento

en la cantidad de carga y número de empleados genera un aumento en los viajes de carga. La Tabla 32 presenta el mejor modelo lineal y el mejor modelo no lineal seleccionados considerando que presentaran el mejor t-test para la variable, un F-test mayor para el modelo y un mayor ajuste de R<sup>2</sup>.

**Tabla 32 Mejor modelo lineal y no lineal de atracción de viajes de carga seleccionados para Plaza Mayorista**

Modelos	Variable empleada	Coficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	β
Lineal	Carga*	0.000084	7.88	62.103	0.390	0
Lineal - Ln	Carga*	0.231666	11.88	141.223	0.593	0

Carga\* Refiera a la carga en Kg que recibe el establecimiento

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de los modelos lineales, la variable que obtuvo mayor poder explicativo fue carga en kg con una significancia de 7,88 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos lineales éste modelo presenta un F-test mayor junto a un R<sup>2</sup> más ajustado a los datos. Para el caso del mejor modelo no lineal, también la variable carga en kg obtuvo una significancia de 11,88 y signo positivo del coeficiente, además entre los modelos no-lineales éste modelo presenta un F-test mayor junto a un R<sup>2</sup> más ajustado a los datos. El F-test del modelo con la variable carga en kg presenta un valor de 141.22 el cual resulta superior en comparación al empleo cuyo valor es 87.92, por otro lado, los valores de R<sup>2</sup> muestran un buen ajuste a los datos con el 59% para el modelo no lineal mientras que el caso del modelo lineal se presenta un ajuste a los datos de 39%.

La Ecuación 41 muestra la formulación del mejor modelo *lineal* con base en los datos para el caso de plazas de mercado empleando la variable empleados.

$$FTA = 0.000084 \text{ carga}$$

Ecuación 45

Donde,

$FTA = \text{viajes de carga atraídos}$

$Carga \text{ en kg} = \text{carga en kg transportada desde el generador}$

Con base en la Ecuación 42 el mejor modelo *lineal-logaritmico* encontrado para el caso de grandes plazas de mercado es:

$$FTA = 0.231666 \ln (carga)$$

Ecuación 46

Donde,

*FTA = viajes de carga atraídos*

*Carga en kg = carga en kg transportada desde el generador*

En la plaza minorista se observó con base a lo que reportaban los establecimientos comerciales que aproximadamente 70 % de los viajes provenían de la Central Mayorista, esta dinámica se da entre las 3 y las 5 am y el proceso funciona como una cadena de actividades: primero los carros llegan cargados a la Central Mayorista de Antioquia entre la 1 y las 3 am y luego se llevan el producto a sus establecimientos en la plaza minorista.

#### **4.9.8 Aplicación a un caso de estudio**

La idea de la modelación de viajes, en especial de la generación de viajes, es poder pronosticar para casos aplicados en áreas urbanas. Siguiendo esta idea, la presente tesis realiza un caso de aplicación para grandes establecimientos. El caso de aplicación contempla la creación de grandes generadores, que eventualmente a diario abren sus puertas en la ciudad o que modifican sus características de infraestructura o amplían su ocupación de suelos. Para el caso del Área Metropolitana del Valle de Aburrá el centro Comercial Florida anunció en el año 2018 la adquisición de nuevos predios para ampliar su operación comercial, la central mayorista anuncio la construcción de un bloque de aproximadamente 11 pisos para organizar la nueva demanda que está generando en la región, por otra parte la central minorista manifestó que ha estudiado la posibilidad de desplazarse de su actual ubicación lo cual puede generar una reorganización de viajes de mercancías en el área urbana. Todo esto son ejemplos claros que el movimiento de mercancías es cambiante y estimar la cantidad de viajes ayudara a los planificadores urbanos a entender las necesidades y las afectaciones de un entorno.

Se plantea en este caso la creación de un centro comercial en el área urbana de la ciudad de Medellín, para ello la Secretaria de Planeación Municipal ha decidido estimar la cantidad de viajes de mercancías que se esperan lleguen al establecimiento ya que debe justificar la adecuación de vías ante la secretaria de obras (y el número y tamaños de áreas de cargue y descargue). Para ello se reúne con los gerentes del proyecto quienes conocen el

área que se va a destinar al emplazamiento del edificio y la cantidad de empleos a generar. La información que le suministran al consultor se muestra en la Tabla 33.

**Tabla 33 Caso de aplicación para un centro comercial.**

Tipo de establecimiento	Empleo	Área (m <sup>2</sup> )	Establecimientos
Gran Centro Comercial	1.200	25.000	250

Fuente: Elaboración propia

Con esta información solicitada, un consultor de transporte debe estimarla cantidad de viajes que puede esperar debido a la creación de estos nuevos generadores.

Con base en la Figura 49 selecciona el modelo que le muestra un mejor R<sup>2</sup> utilizando el modelo logarítmico lineal.

**Figura 49 Uso de modelos de viajes de carga para centros comerciales**

Modelos	Variable empleada	Coefficiente	t-test	F-test	R <sup>2</sup>	β
<i>Lineal</i>	Área*	0,004779	10,86	118,01	0,90	
<i>Lineal</i>	Empleo**	0,110071	6,07	36,80	0,74	
<i>Lineal</i>	Establecimientos***	0,465206	6,07	36,80	0,74	
<i>Lineal - Ln</i>	Área*	15,1704	8,94	79,99	0,86	
<i>Lineal - Ln</i>	Empleo**	22,3605	9,03	81,60	0,86	
<i>Lineal - Ln</i>	Establecimientos***	28,3903	9,31	86,63	0,87	
<i>Ln - Ln</i>	Área*	0,484283	39,79	1583,11	0,99	1.11
<i>Ln - Ln</i>	Empleo**	0,712475	37,55	1409,86	0,99	1.12
<i>Ln - Ln</i>	Establecimientos***	0,899821	33,16	1099,33	0,99	1.162
<i>Ln - Lineal</i>	Área*	0,000135	7,68	58,95	0,82	10.186
<i>Ln - Lineal</i>	Empleo**	0,003391	7,07	49,96	0,79	14.18
<i>Ln - Lineal</i>	Establecimientos***	0,014331	7,07	49,93	0,79	14.21

Fuente: Elaboración propia

Con base en la información recolectada y tomando los modelos de esta investigación el consultor estima la cantidad de viajes que deberá atender la ciudad tanto en el centro como en la periferia urbana tomando los mejores modelos para cada caso de aplicación. Los resultados se muestran en la Tabla 34

**Tabla 34 Cantidad de viajes días esperados para el caso de aplicación**

<b>Tipo de establecimiento</b>	<b>Cantidad de viajes/día (empleo)</b>	<b>Cantidad de viajes/día(área)</b>	<b>Cantidad de viajes/día (establecimientos)</b>
Gran Centro Comercial	174.9	149.55	167.15

**Fuente:** Elaboración propia

Para el caso de la zona centro de la ciudad que es donde se emplazará el centro comercial se esperan entre 149.5 viajes/día si evaluamos con la variable área, 174.9 viajes/día si se aplica con la variable empleo y 167 viajes/día si empleamos la variable establecimientos esto dará como resultado que la infraestructura de parqueadero interno deberá garantizarse esta oferta para los viajes. Por otra parte, el consultor puede recomendar incentivar el cargue y descargue nocturno para evitar la circulación de vehículos pesados en el día, la adecuación interna de espacios y el mejoramiento de radios de acceso, buscando preparar a la comunidad urbana de la periferia a estos nuevos establecimientos en el vecindario.

## **5. BUENAS PRÁCTICAS APLICADAS A GRANDES GENERADORES DE VIAJES DE MERCANCÍAS**

Los grandes generadores de viajes urbanos deben ser identificados y cualificados en las áreas urbanas, esto permitirá organizar la cantidad de vehículos de mercancías mediante la gestión de buenas prácticas y optimizar el sistema de transporte de carga y reducir sus externalidades (Jaller, Wang, and Holguín-Veras 2015). A continuación, se presentan algunas iniciativas que conducen a alcanzar este objetivo.

### **5.1 Horarios de cargue y descargue nocturno**

Los grandes generadores de mercancías deben aprovechar su capacidad de bodega, por ello deben incentivar con sus transportadores y/o proveedores la gestión de horarios de cargue y descargue nocturno. Esto evitará que alrededor los establecimientos se presenten conflictos entre los actores de la movilidad. Un ejemplo de esta práctica en el municipio de Medellín se ubica en San Cristóbal, donde la intensidad de vehículos de mercancías ha sido medida y determinada según la actividad de los establecimientos, esto ha permitido organizar mejor la vía principal de acceso a los establecimientos facilitando la movilidad urbana.

Figura 50. Restricción de vehículos de carga en zona generadora de mercancía.



Fuente: Google (s.f). Mapa de San Cristóbal. Recuperado Julio 2019

## 5.2 Centros de distribución de grandes generadores en las ciudades

Los centros de distribución cumplen la función de almacenar mercancías para estos establecimientos, acomodando la demanda de inventarios para enviar a los centros generadores de mercancías. Esto permite una organización interna de envíos y recibos de mercancías, acomodar las etapas de viaje de última milla acorde a las dinámicas de las áreas urbanas, minimizando los costos en los viajes (tiempo y distancia) y estableciendo una organización a esta cantidad de viajes.

La Figura 51 muestra un centro de distribución que opera para minimercados en el sector norte del AMVA, con un despacho promedio de 50 vehículos de mercancías al día para abastecer el consumo de más de 25 establecimientos. Los horarios de operación son principalmente en la noche donde un establecimiento recibe la mercancía, utiliza sus estantes como puntos de almacenaje y el restante de productos a rotación se guardan dentro de una bodega. La operación se repite entre 3 o 4 veces por semana.

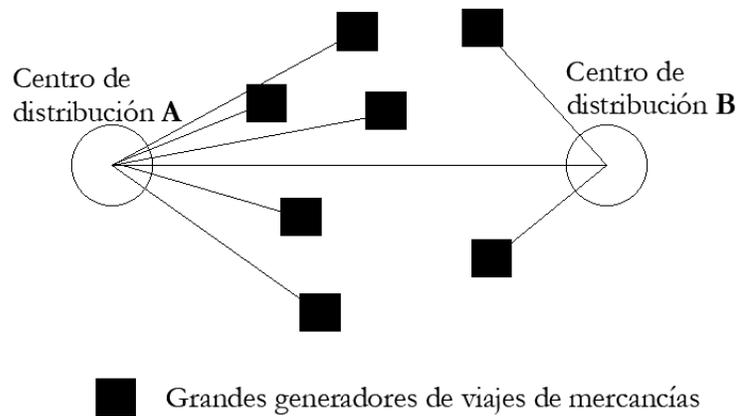
Figura 51. Centro de distribución de un conjunto de minimercados en Medellín.



Fuente: Google (s.f). Mapa de Medellín. Recuperado Julio 2019

En el sector sur por su parte se maneja su misma operación, donde se emplaza otro centro de distribución que abastece el otro sector de la ciudad. La dinámica de este centro de distribución se muestra en la Figura 52.

Figura 52. Distribución de viajes de dos centros de distribución. Abastecimiento según ruma más corta.



Fuente: Elaboración propia

---

### **5.3 Bodegas de confianza en los grandes generadores de viajes de mercancías**

Los gastos asociados a la logística de mercancías suponen un gasto en el movimiento de mercancías que es asumido por los que envían, los que reciben o los que transportan. Para ello una iniciativa que ha generado una reducción en ahorros en cargue y descargue de algunos productos. La actividad consiste en que la persona que carga y descarga la mercancía ingresa hasta ciertas zonas, realiza su operación y sale del establecimiento. Las ventajas que puede suponer ahorros en los actores en el cargue y descargue, que se multiplican por aproximadamente el doble debido a los pagos nocturnos en los que debe incurrir una empresa.

### **5.4 Consolidación de viajes de grandes generadores de viajes de mercancías**

El proceso de logística de los establecimientos comerciales sugiere que se puede lograr una agrupación de las mercancías por tipo de establecimiento comercial considerado como gran generador para atender la demanda de productos que envían o reciben. Esta consolidación de mercancías para este tipo de establecimientos puede tender a:

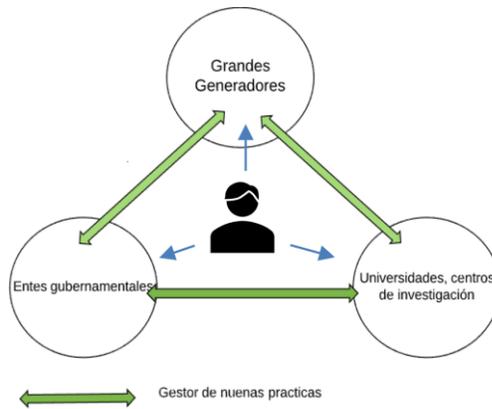
1. Realizar en unos horarios fijos la distribución de mercancías reduciendo recorridos y viajes vacíos a un mismo punto de la ciudad
2. Realizar por una tipología de productos la distribución dentro de algunos generadores de mercancías
3. Organización de los viajes que vienen fuera del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

### **5.5 Gestores de mercancías para grandes generadores**

Los grandes generadores deben tener una relación directa con el sector público encargado de gestionar la movilidad y la academia, para ello no solo es necesario que exista una interrelación entre los tres actores, sino que a su vez exista un departamento o personas encargadas de gestionar información oficial entre las empresas, los entes y la universidad para futuros estudios generando un ambiente de confianza en el proceso. Para el caso

específico de este trabajo investigativo, la información no fue clara por parte de los grandes generadores y los entes gubernamentales debido a la falta de confianza y a que no se tiene claro el porqué de la importancia de estudios relacionados al transporte de carga. La Figura 53 muestra con una flecha la interrelación que jugaría el gestor quien aportaría y conocería los grandes generadores de la ciudad, su dinámica y el papel que juegan dentro del sistema de transporte de carga de las ciudades.

**Figura 53. Relación entre agentes de transporte de mercancías en grandes generadores**



**Fuente:** Elaboración propia

---

## 6. CONCLUSIONES

1. Todos los modelos escogidos como los mejores para explicar el fenómeno de generación de viajes poseen variables significativas, por lo tanto, se puede afirmar que cambios en dichas variables independientes afectan la variable explicada. A continuación, se muestra para cada generador una conclusión que puede servir como insumo en la formulación de políticas públicas:
  - ✚ Para centros comerciales, el modelo seleccionado que muestra una mejor aproximación a la estimación de viajes atraídos utiliza la variable número de establecimientos. El modelo tiene un comportamiento exponencial que varía inicialmente desde tasas de viajes de un 86% cuando se tienen 10 establecimientos, del 9,9% cuando se llega a 50 establecimientos y hasta del 1% cuando se llega a más de 400 establecimientos; después de esto un cambio adicional en el número de establecimientos va a generar una variación cada vez menor en los viajes atraídos.
  - ✚ Para hoteles, el modelo seleccionado y que mostró una buena estimación de los viajes atraídos utiliza como variable significativa el número de habitaciones; en este caso y para el tamaño de un gran hotel cuando el valor sobrepasa las 120 habitaciones un cambio adicional en este número va a generar una variación cada vez menor en los viajes atraídos.
  - ✚ Para empresas, el modelo seleccionado para la estimación de viajes producidos hace uso de la variable carga, el modelo tiene un comportamiento logarítmico con una estabilización del comportamiento cuando se alcanza el valor de 500 toneladas, a partir de esto un cambio adicional en el número de toneladas va a generar una variación cada vez menor en los viajes producidos.
  - ✚ Para hospitales, el modelo seleccionado para la estimación de viajes atraídos hace uso de la variable camas, el modelo tiene un comportamiento logarítmico con una estabilización del comportamiento cuando se alcanza un valor aproximado de 800 camas, a partir de esto un cambio adicional en el número de camas va a generar una variación cada vez menor en los viajes atraídos.
  - ✚ Para universidades, el modelo seleccionado y que mostró unos coeficientes válidos para la estimación de los viajes atraídos se obtuvo con la variable estudiantes, el modelo presenta una estabilización de su comportamiento cuando la cantidad de estudiantes llega a 5000, es decir, que, con base en los datos, cuando las

universidades sobrepasan esta cantidad de estudiantes el cambio en los viajes atraídos va a ser cada vez menor.

- ✚ Para edificios, el modelo seleccionado para la estimación de viajes atraídos utiliza la variable empleados, el modelo tiene un comportamiento logarítmico con una estabilización del comportamiento cuando se alcanza el valor de 300 empleados, a partir de esto un cambio adicional en el número de empleados va a generar una variación cada vez menor en los viajes atraídos.
  - ✚ Para plazas de mercado, el modelo seleccionado y que mostró una mejor aproximación a la estimación de viajes atraídos utilizó la variable carga en Kg por establecimiento, mostrando que después de 1 tonelada un cambio adicional en la cantidad de carga por establecimiento va a generar una variación cada vez menor en los viajes atraídos.
  - ✚ Para la Plaza minorista, el modelo seleccionado y que mostró una mejor aproximación a la estimación de viajes atraídos utilizó la variable carga en Kg por establecimiento, mostrando que después de 1,3 toneladas un cambio adicional en la cantidad de carga por establecimiento va a generar una variación cada vez menor en los viajes atraídos.
  - ✚ Para la Plaza Mayorista, el modelo seleccionado y que mostró una mejor aproximación a la estimación de viajes atraídos utilizó la variable carga en Kg por establecimiento, mostrando que después de 1,4 toneladas un cambio adicional en la cantidad de carga va a generar una variación cada vez menor en los viajes atraídos.
2. Los modelos de regresión lineal simple obtuvieron mejores resultados en los indicadores t-Student, F de Fisher y R cuadrado; por esta razón se escogieron por encima de los modelos de regresión lineal múltiple.
  3. Los grandes generadores de carga generan viajes en función de variables, como el número de establecimientos, el número de empleados, el área superficial del generador y otras variables son propias de cada establecimiento (e.g., número de habitaciones para el caso de hoteles). Las variables mencionadas respaldan lo hallado en otros estudios de manera que conceptualmente son correctas en la modelación de viajes de carga.

---

### *Trabajos Futuros y recomendaciones para el estudio de los Grandes Generadores De Viajes Mercancía*

A continuación, se hacen recomendaciones para la realización de estudios que conduzcan a una validación más detallada del problema asociado a la generación de viajes en grandes generadores de mercancías:

1. Incrementar la muestra de estudio con otros grandes establecimientos de otras ciudades del país, por ejemplo, Cali o Bogotá para generar una base de datos más completa que permita analizar los mismos modelos con más datos para cada tipo de establecimiento evaluado y permita concluir sobre los resultados.
2. Es necesaria diferenciar los tipos de vehículos que llegan al establecimiento para dar indicadores más precisos a planificadores de transporte o tomadores de decisiones que permita determinar las variables que se puedan asociar a dichos modos. Esto ayudara a determinar a mayor detalle las necesidades en infraestructura o planificación de la cadena de viajes de mercancías para los grandes generadores de viaje.
3. Es posible plantearse estudios de contaminación ambiental relacionados a las áreas de afectación de los grandes generadores de viajes urbanos, buscando observar las implicaciones de estos centros de mercancías en el medio ambiente.
4. Es necesario alimentar continuamente las bases de datos con nueva información para observar la variación de viajes en distintos períodos de tiempo. Esto ayudará a observar si existen cambios en la generación de viajes por épocas y puede contribuir a una planificación más acertada para cada temporada del año.
5. Si bien los test de las variables son significativos, no necesariamente los modelos pueden ser generalizados, por ello es necesario medir las variables y replicarlas en distintas áreas urbanas acorde a las necesidades del consultor/investigador; no dejando pasar por alto, que afectaciones como la que vivimos actualmente a raíz del COVID-19 impactan la generación de viajes de los grandes generadores de viajes.

## 7. ANEXOS

### 7.1 ANEXO A: Presentación de poster en TRB (Transportation research board)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
SEDE MEDELLÍN  
FACULTAD NACIONAL DE MINAS

**FREIGHT TRIPS GENERATED BY LARGE BUILDINGS:  
AN EMPIRICAL INVESTIGATION**

Francisco Mafla-Hernandez, C.E. MS. Student, fmaflahe@unal.edu.co  
Department of Civil Engineering, Universidad Nacional de Colombia at Medellín



TRB ANNUAL MEETING  
JANUARY 13-17 2019 • Washington, D.C.



CENTER OF EXCELLENCE FOR SUSTAINABLE URBAN FREIGHT SYSTEMS

**ABSTRACT**

This study estimates freight trips generated by large urban freight traffic generators - LUFTGs (e.g. malls, hotels, hospitals, universities). To conduct this research, the authors **estimated econometric models** to obtain the variables that explain **production and attraction of freight trips** generated by different LUFTGs.

Medellin metropolitan area conducted a study on the transport of goods where the movement of freight in the region was characterized. The LUFTGs chapter of the study is based on the work developed in Manhattan, where they identify linear regression models in large generators considering variables such as employment and establishment area.

**CASE STUDY: MEDELLIN METROPOLITAN AREA**

**Main Urban Areas:** Medellín, Itagüí, Bello.

**Location:** South America, Colombia, Antioquia

Approximately 130.000 freight trips per day

Approximately 6 million of trips of people per day in all modes

**Population:** 4.2 million people



Figure 4. Medellín Metropolitan Area

**PRELIMINARY RESULTS : SHOPPING CENTER**

Sample Size: 12 shopping centers  
Main Delivery Vehicle: Small 2 Axle Truck (32 %), Tiny Truck (30%)

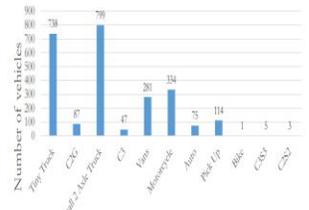


Figure 7. Counts in shopping centers

**LARGE URBAN FREIGHT TRAFFIC GENERATORS**

The **LUFTGs** can be understood as spots of reception and delivery of a large number of freight trips in an urban area. Some examples are shown in Figures 1, 2 and 3.





Figure 1. Intercontinental's Hotel, Medellín. Figure 2. University of Antioquia, Medellín. Figure 3. Mayorca Mall, Sabanaeta.

**PRELIMINARY RESULTS**

The main information found in the data collection in the large generators are shown in Figure 5 and Figure 6

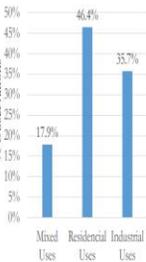


Figure 5. Land uses for the LUFTGs



Figure 6. Regular and off-hour deliveries

**ILLUSTRATIVE EXAMPLE: UNIVERSITIES**

In the case of universities, the operation dimension of the merchandise trips of the establishment can be measured through the number of students.

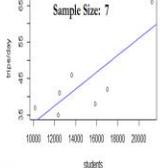


Figure 8. Regression Analysis: Models for universities

Truck trips/day = 3,21 \* Students  
T-TEST -> EST 3,21  
Pr (>|t|) 0,026

**METODOLOGY**



**FINAL EXPECTED RESULTS**

This research pretends:

- ❖ Estimate econometric models of production and attraction of freight trips generated by different LUFTG
- ❖ Value of congestion in LUFTGs,
- ❖ Road capacity studies in the vicinity of LUFTGs

**ADVISORS:**  
 Carlos A. González-Caldereón, Ph.D., Associate Professor, cagonzal@unal.edu.co  
 John Jairo Posada-Henao, Ph.D., Associate Professor, jposada@unal.edu.co  
 Department of Civil Engineering, Universidad Nacional de Colombia at Medellín

## 7.2 ANEXO B: Presentación de poster en VREF (Conference on Urban Freight 2018)



**Francisco Javier Mafla-Hernández, MSc. Student.**  
**Carlos A. González-Calderón, Ph.D. Associate Professor**  
**John Jairo Posada Henao, Ph.D. Associate Professor**



### FREIGHT TRIPS GENERATED BY LARGE BUILDINGS: AN EMPIRICAL INVESTIGATION

ABSTRACT

This study estimates freight trips generated by large urban freight traffic generators - LUFTGs ( e.g, malls, large buildings, hospitals, universities). To conduct this research, the authors **estimated econometric models** to obtain the variables that explain **production and attraction of freight trips** generated by different LUFTGs.

LARGE URBAN FREIGHT TRAFFIC GENERATORS

The **LUFTGs** can be understood as spots of reception and delivery of a large number of freight trips in an urban area. Some examples are shown in Figures 1, 2 and 3.



Figure 1. Freight transportation analysis zones (LUFTGZs) , Medellin.

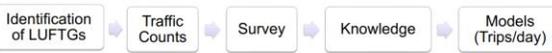


Figure 2. Bancolombia building, Medellin.



Figure 3. Mayorca Mall, Sabaneta.

METODOLOGY



CASE STUDY: MEDELLIN METROPOLITAN AREA

**Main Urban Axis:** Medellin, Itagui, Bello.

**Location:** South America, Colombia, Antioquia

Approximately 130.000 freight trips per day

Approximately 6 million of trips of people per day in all modes

**Population:** 3.9 million inhabitants



Figure 4. Medellin Metropolitan Area

PRELIMINARY RESULTS

“All the LUFTGs trips handle the cargo in different ways: in some cases they can have a similar behavior, but it is never the same.”

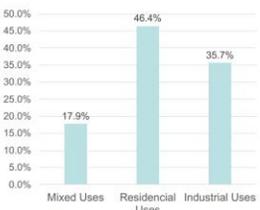


Figure 5. Land uses for the LUFTGs.



Figure 6. Regular and off hour deliveries

55 % Trip Attraction

45 % Trip Production

Average Employment: 228

Average establishment area : 48,000 m<sup>2</sup>

Adequate storage: 85 %

**18,108 trips/day**  
**36,795 ton/day**  
**2,1 ton/trip**

ILLUSTRATIVE EXAMPLE



University of Antioquia, Medellin, Colombia

In the case of universities, the operation dimension of the merchandise trips of the establishment can be measured through the number of students.

The model allows to estimate the number of freight trips in other universities considering the number of students

Regression analysis

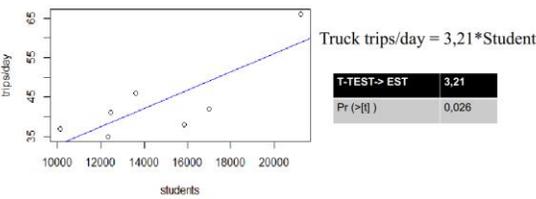
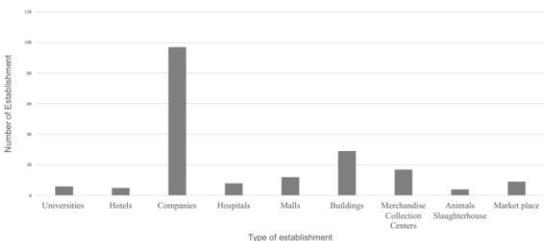


Figure 7. Models for universities

PRELIMINARY RESULTS



FINAL EXPECTED RESULTS

This research pretends :

- ❖ Estimate econometric models of production and attraction of freight Trips generated by different LUFTG

Offering a modeling tool that serves as support in other areas such as:

- ❖ Value of congestion in LUFTGs,
- ❖ Road capacity studies in the vicinity of LUFTGs

3rd VREF Conference on Urban Freight. Gothenburg, Sweden, Oct 17 – 19, 2018

### 7.3 ANEXO C: Cuadro de revisión bibliográfica

Documento	Metodología Modelística			Temas tratados			Principales conclusiones
	Regresión lineal	Simulación	Clasificación cruzada	Costos	Contaminación	Congestión	
<b>Improving truck trip-generation techniques through trip -end stratification</b> (Brogan 1980)	X			X	X	X	Realiza distintas estratificaciones por tipo de vehículo, propósito y destino para mejorar los pronósticos de la generación de viajes. Los modelos que analiza son modelos de regresión lineal para viajes con destinos internos y externos, entre las variables que se analizan este empleo, ingresos, unidades de vivienda.
<b>Service and supply trips at federal institutions in Washington, D.C., Area</b> (Spielberg & Smith 1981)	X		X			X	Encontraron relación entre los viajes de vehículos de mercancías y variables de empleo y área desarrollando una metodología de toma para la toma de información en Washington D.C
<b>Commercial vehicle trip generation in Chicago Region</b> (Zavattero & Weseman 1981)	X		X				Se realiza un análisis para distinto usos de suelos y distintas configuraciones de vehículos de carga buscando examinar la variación de generación de viajes y examinar sus implicaciones en el movimiento de áreas urbanas
<b>Model for statewide freight transportation planning</b> (Kim & Hinkle 1982)							Articula una metodología para abordar el problema de la planificación del transporte de mercancías basa en el análisis del modelo clásico de demanda de transporte: generación de volumen de mercancías,

Documento	Metodología Modelística			Temas tratados			Principales conclusiones
	Regresión lineal	Simulación	Clasificación cruzada	Costos	Contaminación	Congestión	
							distribución de productos entre zonas, reparto modal y asignación de volumen. El análisis lo realiza para el transporte terrestre, por vía férrea y marítima a través de los siguientes pasos: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definición de la red y construcción</li> <li>2. Análisis de la demanda de transporte</li> <li>3. Requerimiento de vehículos para atender la demanda</li> <li>4. Asignación de la demanda y evaluación</li> </ol>
<b>Goods vehicle trip generation and attraction by industrial and commercial premises</b> (Bartlett & Newton 1985)	X		X	X	X		Realiza modelos de generación de viajes en áreas de Inglaterra para distintas categorías industriales y comerciales en función de algunas variables que expliquen su operación e.g., área de sitio, vías de acceso, área por piso, tipo de estructura.
<b>Trip generation models with permanent unobserved affects</b> (Meurs 1990)	X			X		X	Realiza modelos de generación de viajes utilizando variables de ingresos, número de trabajadores, número de residentes, nivel educativo buscando mirar si la configuración de datos de corte transversal produce datos sesgados.
<b>Trip length distributions in commodity-based and trip-based freight</b>				X	X		Se discute sobre la modelación de la demanda de mercancías basada en el producto y en los viajes de vehículos con un caso de aplicación en Guatemala. Se encontró que el modelado basado en

Documento	Metodología Modelística			Temas tratados			Principales conclusiones
	Regresión lineal	Simulación	Clasificación cruzada	Costos	Contaminación	Congestión	
<b>demand modeling</b> (Holguín-veras & Thorson 2000)							productos no puede estimar la cantidad de viajes vacíos. El documento encontró relaciones entre la frecuencia y la distancia para el total de viajes y el total de toneladas
<b>Trips generation rates and land use – transport planning in urban environment</b> (Pitsiava-Latinopoulou, Tsohos, & Basbas 2001)	X						Relaciona el número de viajes que llegan a un establecimiento con distintas variables como pueden ser, número de visitantes, área por piso, número de empleados, espacio utilizado para la realización de una actividad económica mediante análisis de regresión y tasas.
<b>Freight trip generation by firms</b> (Iding, Meester, & Tavasszy 2002)	X			X	X	X	Realiza modelos de generación de viajes empleando variables de área y empleo mediante regresión lineal para distintas empresas encontrando que la clasificación industrial influye en la generación de viajes
<b>Truck trip generation at container terminals</b> (Holguín-veras, López-genao, & Salam 2002)	X			X	X	X	Estudia la generación de viajes en 21 centros de contenedores. Utiliza variables de TEUs (número de unidades equivalentes manejadas en la terminal), cajas y área.
Modelling police measures and company initiatives for				X	X	X	Realiza una metodología para analizar las políticas relacionadas al transporte de mercancías de distintas compañías y analiza las políticas actuales y futuras

Documento	Metodología Modelística			Temas tratados			Principales conclusiones
	Regresión lineal	Simulación	Clasificación cruzada	Costos	Contaminación	Congestión	
sustainable urban distribution  (Allen et al. 2003)							relacionadas a zonas de baja emisión, análisis de cambios de congestión, análisis de restricciones de peso, análisis de restricciones en el tiempo.
<b>Modelación de la generación y atracción de viajes en el Valle de Aburrá 2005</b> (Aldana-Ramirez 2007)	X			X			Tesis de grado que realiza modelos de atracción y producción de viajes de personas basados en el hogar y no basados en el hogar en Medellín con base en datos del año 2005. No aplicados a carga pero si ha pasajeros.
<b>Use of vessel freight data to forecast heavy truck movements at seaports</b> (Al-Deek 2007)	X			X			Presenta una metodología para la estimación y pronóstico de viajes diarios a puertos de florida usando indicadores económicos. En su estructuración describe modelos de generación que ha tenido en cuenta para su investigación utilizando modelos de regresión lineal y redes neuronales. Las variables empleadas por el investigador son: <i>containers</i> importados diariamente, barriles que son importados diariamente, toneladas que son importadas diariamente, contenedores que son exportados diariamente.
<b>Activity based trip generation forecasting for a suburban area</b> (Liyanage and Kumarage 2007)			X	X			Estimación de tasas de viajes de hogares agregadas para áreas suburbanas para distintos actividades económicas y estatus sociales. Los autores encuentran que el análisis de generación de viajes con base en actividades es más económico en cuanto de

Documento	Metodología Modelística			Temas tratados			Principales conclusiones
	Regresión lineal	Simulación	Clasificación cruzada	Costos	Contaminación	Congestión	
							recolección de datos y tiene un buen pronostico
<b>Comparative analysis of regression models and multiple classification analysis</b> (Bastida & Holguín-Veras 2009)	X		X	X	X	X	Compara dos alternativas para el pronóstico de viajes de carga: mínimos cuadrados ordinarios y clasificación cruzada, usando un conjunto de datos de viajes de mercancías y los atributos de compañías mientras que la clasificación cruzada ayuda a estructurar una mejor representación de la demanda de mercancías. El autor evaluó más de 190 variables encontrando que la segmentación industrial, el tipo de producto, las instalaciones, el número de ventas y la cantidad de empleados fueron las más significativas, se encontró que un conjunto de 20 grupos de variables predictivas para estructurar los modelos de clasificación cruzada
<b>Oregon Freight plan modeling analysis technical memo</b> (ODOT Transportation Planning Analysis Unit 2010)		X					Estudio de transporte de carga para generar alternativas de estrategia a nivel regional. Se analizaron factores económicos relacionados al transporte de mercancías en la región de Oregon.
<b>Assesing the role of accessibility, land use</b>	X			X		X	Incorpora variables espaciales para el pronóstico de la atracción de viajes de carga en la ciudad de New York. En su análisis incorpora variables relacionadas a usos de

Documento	Metodología Modelística			Temas tratados			Principales conclusiones
	Regresión lineal	Simulación	Clasificación cruzada	Costos	Contaminación	Congestión	
<b>characteristics and spatial effects on freight trip attraction</b> (Sanchez-Diaz 2012)							suelo (e.g., tipos de uso, localización geográfica, valor del suelo), variables económicas (Sistemas de clasificación industrial, empleo, ventas, tipo de producto, tipo de producto y número de vendedores) y variables de accesibilidad (ancho de frente, mínima distancia a grandes generadores, promedio de la distancia a los grandes generadores, distancia a la red primaria y distancia a la red primaria de rutas de buses).
<b>Estimated generation of freight trips based on land use</b> (Lawson et al. 2012)	X		X			X	Evalúa los efectos de uso del suelo y tamaño del establecimiento medido en unidades de empleo aplicando el caso en New York.
<b>Freight generation and freight trip generation models</b> (Holguín-Veras et al. 2013)	X			X			Realiza una revisión de los modelos utilizados para la estimación de la generación de carga y viajes de carga para comparar las ventajas y desventajas de las series de tiempo, tasas de viajes, modelos de entrada y salida, modelos de regresión, modelos de regresión espacial, métodos de clasificación cruzada y redes neuronales. Además, realiza una interpretación de FTG y FG y los factores a tener en cuenta cuando se estiman y aplican estos modelos referentes a los sistemas de clasificación, el nivel de agregación y los procesos de agregación. La modelación empleada como caso de estudio

Documento	Metodología Modelística			Temas tratados			Principales conclusiones
	Regresión lineal	Simulación	Clasificación cruzada	Costos	Contaminación	Congestión	
							analiza las variables de empleo y el tamaño del establecimiento.
<b>Urban freight models</b> (Comi, Donnelly, & Russo 2013)	N/A			X	X	X	Realiza una descripción de los modelos de transporte de carga urbanos actualmente realizados, desde el modelo clásico de transporte de mercancías, la agregación o no agregación de los modelos y los actores que intervienen
<b>Area based freight trip generation models</b> (Jaller et al. 2014)	X			X			Realiza un caso de aplicación de los modelos de generación de carga utilizando la variable áreas para la ciudad de New York y New Jersey y realiza un comparativo con los resultados obtenidos con la variable área.
<b>Freight truck trip generation modelling at regional level</b> (Kulpa 2014)	X						Estima modelos de generación utilizando tasas y análisis de regresión a nivel zonal con distintas variables e.g., número de compañías, número de empleos, tipo de actividad que se desarrolla. Todo esto lo realiza a una escala regional.
<b>Evaluating the impacts of urban freight traffic: application of micro-simulation at a large establishment</b> (Aditjandra et al. 2016)		X		X	X	X	Realiza micro simulación de tráfico para encontrar los impactos ambientales que se generan alrededor de grandes establecimientos con información de distintas encuestas de transporte de carga. El objetivo es analizar las emisiones en los alrededores de grandes generadores urbanos para dar diagnósticos propositivos a la planificación urbana
<b>Freight trips generation and</b>	X						Reporte que realiza una descripción detallada de la generación de viajes, explicando los

Documento	Metodología Modelística			Temas tratados			Principales conclusiones
	Regresión lineal	Simulación	Clasificación cruzada	Costos	Contaminación	Congestión	
<b>Land Use</b> (Delft Rensselaer Polytechnic institute University at Albany TNO 2017)							actores que se relacionan, el sistema de transporte de carga, las características de uso del suelo y su relación con el transporte de carga. A su vez realiza comparaciones con otras metodologías utilizadas para modelar la generación de mercancías, la validez de los resultados y lo arrojado por distintas clasificaciones.
<b>Modeling Urban Freight generation: A study of commercial establishments freight needs</b> (Sánchez-Díaz 2017)	X		X	X			Estima modelos para de generación de viajes para establecimientos en la ciudad de Gotemburgo en Suecia, incluyendo distintos sectores comerciales. Utiliza variables del establecimiento como área, empleo, tamaño y viajes.

Fuente: Elaboración propia

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aditjandra, Paulus T., Fabio Galatioto, Margaret C. Bell, & Thomas H. Zunder. 2016. "Evaluating the Impacts of Urban Freight Traffic: Application of Micro-Simulation at a Large Establishment." *European Journal of Transport & Infrastructure Research* 16(1): 4–22.
- Al-Deek, Haitham M. 2007. "Use of Vessel Freight Data to Forecast Heavy Truck Movements at Seaports." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1804(1): 217–24.
- Aldana-Ramirez, Claudia Marcela. 2007. "Modelación de La Generación y Atracción de Viajes En El Valle de Aburrá 2005." Universidad Nacional de Colombia.
- Allen, Julian et al. 2003. "Modelling Policy Measures and Company Initiatives for Sustainable Urban Distribution Final Technical Report A Research Project Funded by the EPSRC / DfT as Part Authors: Transport Studies Group , University of Westminster January 2003." *Transport studies group University of Westminster* (January).
- Área metropolitana del Valle de Aburrá. 2012. "Encuesta Origen Destino de Carga Para El Valle De Aburrá 2012."
- B AgenciaTravel brand. 2019. "Four Points By Sheraton Medellin." *The travel Bran*: 1–5. <https://www.bthetravelbrand.com/hotel/four-points-by-sheraton-medellin-medellin>.
- Bartlett, R S, and w h Newton. 1985. Amundsen & Hyden,1977 *Goods Vehícle Trip Generation and Attraction by Industrial and Commercial Premises*. [https://www.pci.org/PCI\\_Docs/Members\\_Only/Technical Resources/Fib Bulletin/fib\\_Bull15\\_NMG OCR.pdf](https://www.pci.org/PCI_Docs/Members_Only/Technical_Resources/Fib_Bulletin/fib_Bull15_NMG_OCR.pdf).
- Bastida, Carlos, & José Holguín-Veras. 2009. "Freight Generation Models. Comparative Analysis of Regression Models and Multiple Classification Analysis." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2097(1): 51–61.
- Brogan, James D. 1980. "Improving Truck Trip-Generation Techniques through Trip-End Stratification." *Transportation Research Record* 771.
- Caracol Radio. 2015. "Grupo Éxito Construirá En Envigado El Centro Comercial Más Grande de Colombia." *Caracol Radio Negocios*.

- [https://caracol.com.co/emisora/2015/11/12/medellin/1447353986\\_487711.html](https://caracol.com.co/emisora/2015/11/12/medellin/1447353986_487711.html).
- Comi, Antonio, Rick Donnelly, and Francesco Russo. 2013. *Modelling Freight Transport Urban Freight Models*. Elsevier Inc. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-410400-6.00008-2>.
- Delft Rensselaer Polytechnic institute University at Albany TNO. 2017. "Freight Trips Generation and Land Use. Draft Final Report." *Transportation Research Board*.
- Departamento administrativo nacional de Estadística. 2012. *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas Las Actividad Económicas*. [https://www.dane.gov.co/files/nomenclaturas/CIIU\\_Rev4ac.pdf](https://www.dane.gov.co/files/nomenclaturas/CIIU_Rev4ac.pdf).
- Gomez Escobar, Ignacio. 2017. "Ignacio Gómez Escobar - CONSULTOR RETAIL -." *Guía del Centro Tecnológico de Medellín*: 1–16. <http://igomeze.blogspot.com/2017/09/monterrey-mall-guia-del-centro.html>.
- Gonzalez-Calderon, Carlos Alberto, & Jhon Jairo Posada-Henao. 2013. *Principales Aspectos a Considerar Para Modelar La Demanda de Transporte de Carga*. Medellín.
- Gujarati, Damodar N. & Porter Dawn. 2010. *Econometría*. Quinta Edi. ed. McGraw Hill.
- Holguín-Veras, José et al. 2011. "Freight Generation, Freight Trip Generation, and Perils of Using Constant Trip Rates." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2224: 68–81. <http://trrjournalonline.trb.org/doi/10.3141/2224-09>.
- Tavazzy & Jong 2013 "Freight Generation and Freight Trip Generation Models.". *Modelling Freight Transport*: 43–63.
- "Using Commodity Flow Survey Microdata and Other Establishment Data to Estimate the Generation of Freight, Freight Trips, and Service Trips. Research Report 37." 2017. : 248. [www.nap.edu/catalog/24602/using-commodity-flow-survey-microdata-and-other-establishment-data-to-estimate-the-generation-of-freight-freight-trips-and-service-trips-guidebook](http://www.nap.edu/catalog/24602/using-commodity-flow-survey-microdata-and-other-establishment-data-to-estimate-the-generation-of-freight-freight-trips-and-service-trips-guidebook).
- Holguín-veras, José, Yamilka López-genao & Abdus Salam. 2002. "Truck-Trip Generation at Container Terminals Results from a Nationwide Survey." *Transportation Research Record* (02): 89–96.

- Holguín-veras, José, & Ellen Thorson. 2000. "Trip Length Distributions in Freight Demand Modeling Investigation of Relationships." *Transportation Research Record* .
- Holguín-Veras, Jose et al. 2016. *Using Commodity Flow Survey Microdata and Other Establishment Data to Estimate the Generation of Freight, Freight Trips, and Service Trips: Guidebook (2016)*. Washington, D.C.: National Academies of Sciences.
- Hunt, J D, and K J Stefan. 2007. "Tour-Based Microsimulation of Urban Commercial Movements." *Transportation Research Part B: Methodological* 41: 981–1013.
- Iding, Mirjam, Wilhelm Meester, and Lóri Tavasszy. 2002. "Freight Trip Generation by Firms." *Econstor*.
- Jaller, Miguel, Iván Sánchez-Díaz, José; Holguín-Veras, & Catherine T Lawson. 2014. "Area Based Freight Trip Generation Models." *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting. January 12-16, Washington, D.C.*
- Jaller, Miguel, Xiaokun (Cara) Wang, & Jose Holguin-Veras. 2015. "Large Urban Freight Traffic Generators: Opportunities for City Logistics Initiatives." *Journal of Transport and Land Use* 8(1): 51. <https://www.jtlu.org/index.php/jtlu/article/view/406>.
- Kim, John, & Jere Hinkle. 1982. "Model for Statewide Freight Transportation Planning." *Transportation Research Record*: 15–19.
- Kulpa, Tomasz. 2014. "Freight Truck Trip Generation Modelling at Regional Level." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 111: 197–202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.052>.
- Lawson, Catherine T et al. 2012. "Estimated Generation of Freight Trips Based on Land Use." *Transportation Research Record* (2269): 65–72.
- Liyanage, Tissa U., & Amal S. Kumarage. 2007. "Activity Based Trip Generation Forecasting for a Suburban Area." *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka* 40(4): 86.
- López-Roldán, Pedro, & Sandra Facheli. 2017. "El Diseño de La Muestra. Metodología de La Investigación Social Cuantitativa." *Revista de Educación y Derecho*. (17).
- Luxury Medellin Hotels. 2019. "Luxury Medellin Hotels InterContinental Medellin." *IHG*: 1–

10.

Marqués, Mercedes. 2011. *Bases de Datos*. Primera. España. [www.sapientia.uji.es](http://www.sapientia.uji.es).

McLeod, W.T, & P Hanks. 1986. *The New Collins Concise Dictionary of the English Language*. William Collins, Sons & Co., Glasgow.

Meurs, Henk. 1990. "Trip Generation Models with Permanent Unobserved Effects." *Transportation Research Part B: Methodological* 21.

Middleton, Dan R, John Mason, & T Chira-Chavala. "Trip Generation for Special-Use Truck Traffic." : 8–13.

Miller, Don M. 1984. "Reducing Transformation Bias in Curve Fitting." *American Statistician* 38(2): 124–26.

Naciones Unidas. 2009. *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas Las Actividades Económicas (CIIU)*.

NCFRP. 2011. Impacts of Public Policy on the Freight Transportation System *Impacts of Public Policy on the Freight Transportation System*.

ODOT Transportation Planning Analysis Unit. 2010. "Oregon Freight Plan Modeling Analysis." (August).  
<http://www.oregon.gov/ODOT/TD/TP/docs/ofp/ofpmodelingmemo.pdf>.

Ogden, Ken. 1992. *Urban Goods Movement, a Guide to Policy and Planning*. Melbourne: Ashgate Publishig Company.

Ortuzar, Juan de Dios, & Luis G Willumsen. 2008. *6 Modelos de Transporte*. Universidad de Cantabria

Oviedo, J Daniel, & Ferney Arias. 2019. "El Valle de Aburrá Tiene 3,72 Millones de Personas." *El Colombiano*: 1.  
<https://www.elcolombiano.com/negocios/economia/poblacion-de-medellin-segun-censo-2018-IC11138653>.

Pitsiava-Latinopoulou, M, G Tsohos, & S Basbas. 2001. "Trip Generation Rates and Land Use - Transport Planning in Urban Environment." 52.

Real Academia Española. 2001. *Diccionario de La Lengua Española*. 22nd ed. Madrid.

- Rodrigue, Jean-Paul. 2020. "Transportation Modes, Modal Competition and Modal Shift." *The geography of transport systems*: 1–22. [https://transportgeography.org/?page\\_id=1731](https://transportgeography.org/?page_id=1731).
- Sánchez-Díaz, Iván. 2017. "Modeling Urban Freight Generation: A Study of Commercial Establishments' Freight Needs." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 102: 3–17.
- Sanchez-Diaz, Iván Dario. 2012. 2012 "Assesing the Role of Accessibility, Land Use Characteristics and Spatial Effects on Freight Trip Attraction." Rensselaer Polytechnic Institute.
- Spielberg, Frank, & Steven A Smith. 1981. "Service and Supply Trips at Federal Institutions in Washington, D.C., Area." *Transportation Research Board*: 3–5.
- Tadi, Ramakrishna R., & Paul Balbach. 1994. "Truck Trip Generation Characteristics of Nonresidential Land Uses." *ITE Journal* (July): 43–47.
- U.S. Department of transportation. 2012. "Commodity Flow Survey Transported Goods ( SCTG ) Commodity codes." *Bareu Of transportation statistics* 1200.
- Estudio de Transporte de Carga 2018*. Medellín. Universidad Nacional de Colombia <https://minas.medellin.unal.edu.co/proyectos/estudiocarga-amva/>.
- VREF & RPA. 2016. *Why Goods Movement Matters: Strategies for Moving Goods in Metropolitan Areas*. Gothenburg. <http://goodsmovementmatters.org/>.
- Walpole, Ronald E, Raymond H Myers, Sharon L Myers, & Keying Ye. 2007. *Probabilidad y Estadística Para Ingeniería*. Octava Edi.
- Zavattero, David A, & Sidney E Weseman. 1981. "Commercial Vehicle Trip Generation in Chicago Region." *Transportation Research Record*: 12–15.