UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Estudio y Aplicación de los Modelos de Transporte de Carga Urbano: Generación, Atracción y Distribución de Transporte de Carga en la Ciudad de Bogotá

Khadir Rashid Kairuz Díaz

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2014

Estudio y Aplicación de los Modelos de Transporte de Carga Urbano: Generación, Atracción y Distribución de Transporte de Carga en la Ciudad de Bogotá

Khadir Rashid Kairuz Díaz

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería de Transporte

Director:

MSc Luis Felipe Lota

Codirectora:

Ph.D Liliana Lyons Barrera

Línea de Investigación:

Planeación de Transporte

Grupo de Investigación:

Programa de Investigación de Tránsito y Transporte-PIT

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2014

Dar ejemplo no es la principal manera de influir sobre los demás; es la única manera.

-Albert Einstein.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin el gran esfuerzo que mi familia ha realizado a lo largo de mi vida. Sin ellos mi formación, mi dedicación y mis principios no hubieran prosperado. Por esto y por ayudarme a afrontar retos tan grandes como esta maestría, agradezco enormemente a mi papá Gustavo Kairuz, a mi mamá Imelda Díaz, a mis hermanos Jeniffer Kairuz, Zulma Kairuz y Zahir Kairuz, a mi abuela Betty Carrillo, a mis tías Martha Kairuz y Cecilia Díaz, y a mis primos Alberto Cepeda y Camilo Cepeda.

También les doy las gracias a todos los amigos de Ibagué y a mis grandes amigos Óscar Julián Gómez, Ángela Camargo, Luis Montenegro, Pablo Montenegro y Milton Méndez, por ser un gran ejemplo a seguir y por permitirme tener vivencias inolvidables que espero repetir gracias a nuestra amistad inoxidable.

Muchas Gracias a mi Director de Tesis Luis Felipe Lota y a mi Codirectora Liliana Lyons, quienes fueron grandes gestores de mi investigación y supieron dirigir este proyecto que busca seguir aportando conocimiento a la ingeniería de transporte colombiana.

A mis Jurados Johnny López y Carlos Moncada, les agradezco su tiempo y sus observaciones valiosas que fortalecieron los resultados obtenidos en esta investigación.

Por último, agradezco a todas las personas y entidades que me asesoraron y me suministraron información, Gracias Ximena Cantor Hernández, Diego Alejandro Moreno, Alexandra Silva, Secretaría Distrital de Planeación, y Secretaría Distrital de Movilidad.

Resumen

Este trabajo investigativo estudia el estado del arte de los modelos de transporte de carga a nivel urbano que se han desarrollado y aplicado internacionalmente en sus componentes de Generación, Atracción y Distribución. Asimismo, aplica dichos modelos a la movilidad de carga de la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta la información disponible por parte de entidades competentes de Bogotá. Con base en los resultados obtenidos de los modelos, se analizó la utilidad que proporciona cada uno de los modelos en el entorno Bogotano.

Palabras clave: Logística urbana, transporte de carga urbano, transporte de bienes, Bogotá, producción y atracción, modelos de transporte.

Abstract

This research studies the state of art of urban freight models that have been developed and applied in the components of Generation, Attraction and Distribution. Additionally, these models are applied to the freight mobility of Bogota with the available information provided by the planning and mobility entities of Bogota. Based on the outputs of the models applied, it was analyzed the usefulness by each model in the environment of Bogota.

Keywords: Urban Logistic, Urban Freight Transportation, goods transportation, Bogota, production and attraction, modelling transport.

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de figuras ..... **XIII**

Lista de tablas ..... **XIV**

Lista de Símbolos y abreviaturas ..... **XV**

Introducción **1**

1. Marco Conceptual de la Logística Urbana **3**
1.1 Marco Normativo y de Política de logística Urbana en Colombia 10
1.1.1 Políticas de Transporte Automotor de Carga 12
1.1.2 Políticas y Normativa de Competitividad 14
1.1.3 Planes Urbanos Logísticos para la Gestión de la Carga 15
1.2 Estudios de Logística Urbana en Colombia 17
1.2.1 Plan Maestro de Transporte Urbano de Santafé de Bogotá en la República de Colombia-JICA (1996) 17
1.2.2 Estudio de Carga Departamento Administrativo de Planeación Distrital-DAPD - 2000 19
1.2.3 Plan Maestro de Abastecimiento de Alimentos para el Distrito Capital (2005) 19
1.2.4 Plan Maestro de Movilidad de Bogotá (2006) 20
1.2.5 Estudio Centros de Actividad Logística de Carga de Bogotá (CALCAB) (2007) 21
1.2.6 Estudios Planes Urbanos Logísticos para la Gestión de Carga (2009) 22
1.2.7 Estudios Matriz Origen Destino Transporte de Carga Bogotá (2010) .. 22
1.2.8 Sistema de Indicadores Logísticos en Centros Urbanos (2013) 23

2. Análisis de la Logística Urbana de la ciudad de Bogotá **25**
2.1 Flujos Vehiculares de Carga en Bogotá 25
2.2 Generación y Atracción de Viajes de Carga en Bogotá 30
2.3 Generación y Atracción de Volumen de Carga en Bogotá 36
2.4 Tipos de Carga Movilizados en Bogotá 38
2.5 Regulación tránsito de vehículos de carga en la ciudad de Bogotá 39

3. Análisis de Modelos de Transporte de Carga Urbano **41**
3.1 Recolección de Información 44
3.2 Análisis de Modelos de Demanda para Carga Urbana 46
3.2.1 Producción y Atracción 49

i. Modelos de tendencia y series de tiempo: 50
ii. Modelos de Sistemas Dinámicos: 55
iii. Modelos de tasas de viajes zonales:....56
iv. Modelos Insumo-Producto (Input-Output): 58
3.2.2 Distribución.....60
i. Modelos de Factor de Crecimiento (Fratar)....61
ii. Modelos Insumo Producto (Input-Output) 61
iii. Modelos de Interacción Espacial 62
iv. Formulaciones Sintéticas de Origen-Destino 67
3.2.3 Viajes en Vacío....70
3.2.4 Modelo de Toures de Carga 73
3.2.5 Herramientas de Modelación de Transporte de Carga....76
3.2.6 Aprovechamiento de los Modelos de Transporte de Carga Urbano 77

4. Aplicación Modelo de Transporte Carga Urbano en Bogotá 79
4.1 Aplicación Modelos de Generación-Atracción 83
4.1.1 Aplicación Modelo de Factores de Crecimiento (Modelos de Tendencia y Series de Tiempo)....83
4.1.2 Aplicación Modelo Regresiones Lineales (Modelos de Tendencia y Series de Tiempo)....90
4.2 Aplicación de Modelos de Distribución 95
4.2.1 Aplicación Modelo Fratar 95
4.2.2 Aplicación Modelo Gravitacional 96
4.2.3 Aplicación Modelo de Oportunidades Intervenidas 99
4.2.4 Aplicación Modelo Programación Lineal 101
4.3 Aplicación de Modelo de Viajes en Vacío (Modelo Noortman Van Es) 103
4.4 Resumen Resultados 105

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 106
5.1 Conclusiones....106
5.2 Recomendaciones....109

Bibliografía 111

Anexos....115

Lista de figuras

Pág.

Figura 1.Esquema Estructura general de la Logística Urbana 4
Figura 2.La Última Milla en la Distribución Logística 5
Figura 3. Crecimiento del Tráfico de Carga y el Tráfico de Pasajeros 6
Figura 4.Ámbitos Logísticos en Colombia 16
Figura 5. Plataformas Logísticas 17
Figura 6.Puntos encuestas y aforos Plan Maestro de Movilidad Bogotá 21
Figura 7. Mapa Funcionalidad Bogotá D.C 23
Figura 8. Flujo Vehículos de Carga Accesos Bogotá 26
Figura 9. Distribución de Flujo Vehicular de Carga en el Cordón Intermedio 27
Figura 10. Distribución de Flujo Vehicular de Carga en el Cordón Interno 28
Figura 11. Perfil del Flujo Vehicular del Transporte de Carga en el Cordón Externo, Intermedio, e Interno 29
Figura 12. Viajes de Transporte de Carga Generados por UPZ 32
Figura 13. Viajes de Transporte de Carga Atraídos por UPZ 34
Figura 14. Índice de Actividad Logística 35
Figura 15.Generación y Atracción de carga - Volúmenes mayores a 500 Toneladas/día 37
Figura 16.Condiciones y Restricciones Transporte de Carga en Bogotá 40
Figura 17. Esquema Modelo de Transporte de Carga 43
Figura 18. Componentes del Modelo Basado en Viajes de Vehículos 48
Figura 19.Componentes del Modelo de Basado en Demanda de Carga 49
Figura 20.Modelo de Regresión vs Modelo de tasa de viaje de vehículo de carga 52
Figura 21.Esquema de la Microsimulación basada en Toures 74

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1.Contribución de emisiones por tipo de vehículo en Bogotá (Ton/año) 8
Tabla 2. Niveles de Servicio Rutas de Vehículos de Carga en la Ciudad de Bucaramanga 9
Tabla 3.Niveles de Servicio de Vehículos de Carga en la Ciudad de Barranquilla 9
Tabla 4. Toneladas Diarias Transportadas en Bogotá por Tipo de Producto en el 2008 . 38
Tabla 5.Ecuaciones Producción y Atracción de Viajes por Grupo Industrial 54
Tabla 6. Tasas de Generación de Viajes..... 57
Tabla 7. Número de empleados y Hogares en cada Zona 57
Tabla 8. Parte de los Requerimientos Directos de la Matriz de Entrada y Salida de 1965 de Ontaro..... 58
Tabla 9 Resumen de modelos de atracción y producción de transporte de carga..... 60
Tabla 10. Características Transporte de Carga según Nivel Geográfico 70
Tabla 11.Agrupación de Medidas para Mejorar la Logística Urbana 78
Tabla 12. Ecuaciones Lineales de Regresión 93
Tabla 13. Correlación entre Variables (R^2) 94

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término
a_{ef}	Matriz de requerimientos directos de la tabla insumo-producto
a^{e}_{j}	Vector del valor del consumo anual por la mercancía e por la industria en la zona j
ai	la oferta disponible de cada origen i
aij	Carga útil promedio
bj	la demanda de bienes para cada destino j
c	Costo de transporte
Cij	el costo de movilizar una unidad de una cantidad de bienes de origen i a destino j
C_j^{q-1}	Atraídos totales del área de análisis j, es el resultado de la iteración previa del modelo de gravedad
Dj	Viajes Totales Atraídos
D_j^q	Factor de destino ajustado para una zona de análisis j, iteración q
F	Frecuencia óptima
Fij	Factor de impedancia
I	Ingreso
K	distancia promedio entre zonas
L	Probabilidad de aceptar cualquier oportunidad de destino
mij	Flujo de mercancía entre i y j
N	Número de viajes destino
Oi	Viajes Totales Producidos
P	Probabilidad
P	Población
p^{e}_{j}	Vector de valores anuales de producción de la mercancía e en la región j
Q	Tamaño envío óptimo
r^2	Coeficiente de Determinación
T	Tiempo de viajes; Demanda de carga; Tiempo óptimo entre envíos

Tijk	número de viajes entre i y j en el modo k
U	Función de Utilidad
Vij	Viajes producidos zona i y atraídos en la zonaj
Xij	Número de viajes cargados
Yij	Número de viajes vacíos
Z	Viajes de cada celda
Zij	Número total de viajes

Símbolos con letras griegas

Símbolo	**Término**
β	Parámetros empíricos modelo HVT(modelo de viajes en vacío)
γ	Parámetros empíricos modelo HVT (modelo de viajes en vacío)
θ	Parámetro elasticidad modelo Demanda Directa; Parámetro modelo TOURES
λ	Parámetro elasticidad modelo Demanda Directa
Φ	Parámetro modelo Demanda Directa
$\theta^{v}_{uso\ suelo}$	constante por propósito del tour por uso del suelo
$\theta^{v}_{uso\ suelo}$	constante por tipo de vehículo por uso de suelo
θ^{p}_{est}	constante por propósito del tour por tipo de establecimiento tipo de establecimiento
θ^{v}_{est}	constante por tipo de vehículo por

Subíndices

Subíndice	**Término**
e	Exponencial

Subíndice	Término
i	Zona origen
j	Zona destino

Superíndices

Superíndice	Término
a	Año
e	Tipo de industria
q	número de iteraciones

Abreviaturas

Abreviatura	Término
A	Viajes Diarios de Camiones Atraidos
$ASC^{p,v}$	alternativa constante específica para una combinación dada de un propósito de tour y tipo de vehículo
ASC^{pt}	Alternativa especifica constante para un periodo de tiempo
ASTRA	Assessment of Transport Strategies
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CALCAB	Estudio Centros de Actividad Logística de Carga de Bogotá
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DAPD	Departamento Administrativo de Planeación Distrital
FAC	Factor Annual de Crecimiento

Abreviatura	**Término**
FTG	Freight Trip Genaration
GC	Generación de Carga
GVC	Generación de Viajes de Carga
ILE	Infraestructuras Logísticas Especializadas
JICA	*Japan International Cooperation Agency*
NCFRP	*National Cooperative Freight Research Program*
NCHRP	*National Cooperative Highway Research Program*
NQS	Avenida Norte Quito Sur
P	Viajes Diarios de Camiones Producidos
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
TPE	TOURES por empleado
TRC	término constante en la ecuación de regresión
UPZ	Unidad de Planeamiento Zonal
UTEL	Unidad Técnica de Ejecución Logística

Introducción

A nivel internacional y nacional el estudio del comportamiento del transporte de carga urbano es poco prioritario y no existe una metodología estándar para la modelación de transporte de carga. Se encuentran diversas razones por las que no se han realizado suficientes investigaciones en este campo, como la subestimación de las externalidades negativas de este sector al considerar que el tráfico de carga se presenta en una menor proporción al tráfico del transporte de pasajeros público y privado, así como la dificultad en obtener información confiable del transporte de carga, debido a que las firmas de transporte de carga y los expedidores son reservados en proveer detalles de sus actividades (Hancock, 2008).

En Colombia aún no se ha realizado un estudio de las diversas metodologías que existen para determinar el comportamiento de las mercancías a nivel urbano. Esto hace necesario que se investigue acerca de los modelos de carga urbana que se deben aplicar en la ciudad de Bogotá, con el fin de encontrar los más adecuados para caracterizar y determinar la demanda de bienes y servicios al interior de esta ciudad.

Este estudio examina los modelos de transporte de carga urbano en sus componentes de generación, atracción y distribución, y aplica a la movilidad de carga de la ciudad de Bogotá aquellos modelos que requieran como insumo, información secundaria disponible en los estudios de logística urbana desarrollados por las Secretarías Distritales de Movilidad y de Planeación.

Para este estudio se escogió la ciudad de Bogotá debido a que cuenta con una importante dinámica en el transporte de carga dada por su gran desarrollo económico propio de una ciudad capital. Al igual, las entidades de planeación y movilidad de Bogotá cuentan con información demográfica, urbana, comercial, económica, y de transporte suficientes para aplicar algunos de los modelos estudiados en la investigación.

A pesar de considerar que los aspectos de la oferta son esenciales para enmarcar completamente el comportamiento del transporte de carga a nivel urbano, el alcance de este trabajo de investigación únicamente se enfocó en los aspectos de la demanda. No obstante, esta investigación constituye un punto de partida para estudiar los componentes de la oferta en los modelos de transporte de carga urbana.

A pesar de que existen diversos tipos de carga que se movilizan en la ciudad de Bogotá, en esta investigación la aplicación de los modelos de transporte de carga se realizó sobre la generalidad de los productos, de modo que se correlacionó el total de viajes y de toneladas movilizadas sin analizar individualmente las cadenas logísticas. Este análisis de orden “estratégico” se debió a que no se contaba en cada uno de los años analizados la caracterización de la demanda de forma desagregada.

Es importante resaltar que este estudio constituye un insumo para la escala estratégica de la planeación del transporte, ya que al determinar las metodologías que se pueden aplicar para caracterizar la demanda del transporte de carga en Bogotá, se podrán plantear estrategias de ordenamiento logístico más apropiadas en los planes de movilidad, planes de ordenamiento territorial y en herramientas de regulación del transporte de carga urbano.

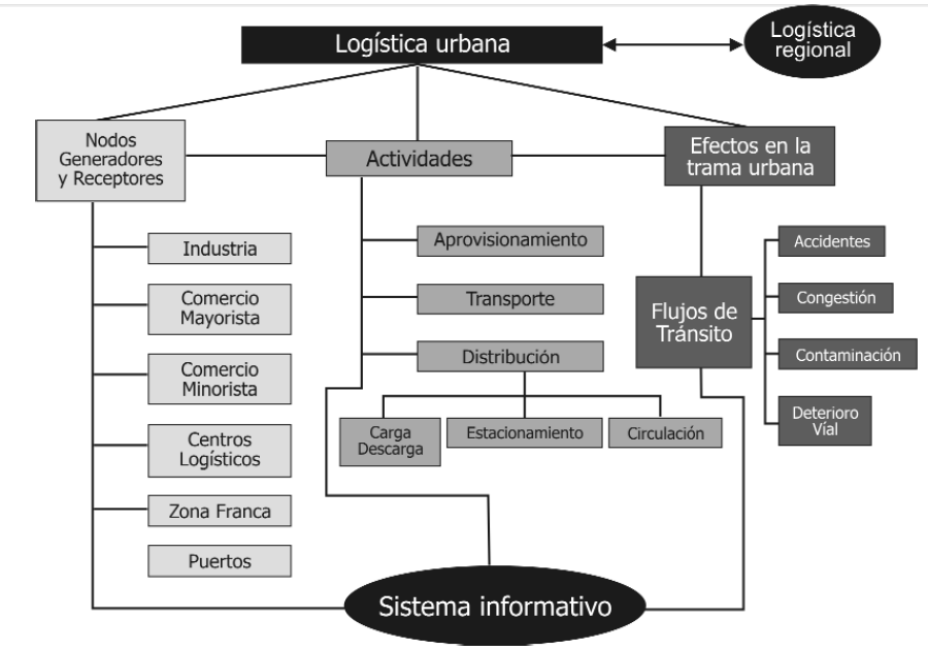
1. Marco Conceptual de la Logística Urbana

El transporte de mercancías constituye uno de los elementos básicos de la logística al ser éste el soporte tecnológico indispensable de la conexión entre productores, comerciantes y consumidores, a lo largo del proceso de la distribución física de los distintos orígenes a los múltiples destinos. Para garantizar esta conexión las empresas transportadoras de carga siempre han tenido que buscar altos niveles de eficiencia y servicios de alta calidad para garantizar que los productos transportados sean asequibles económicamente a los consumidores.

Estos productores, comerciantes y consumidores generalmente se ubican en las ciudades, ya que es allí donde se encuentran las industrias, los centros de servicio y la mayoría de los consumidores. Por esto, se consideran las ciudades como nodos dentro de la cadena logística o puntos de abastecimiento de los productos que se consumen y/o producen. En este sentido, dependiendo de la especialidad económica de las ciudades, éstas se pueden clasificar de diferentes formas con respecto a la función que presentan en la cadena logística, así la posición estratégica o ciertas características físicas hace que se encuentren ciudades puerto, productoras de carga manufacturada, exportadoras, distribuidoras, de consumo minorista, de consumo mayorista, o únicamente de tránsito (Departamento Nacional de Planeación, 2009).

Al igual, una ciudad puede contar con una gran red de nodos y cadenas logísticas. Para una ciudad, los principios logísticos resultan de mayor complejidad que en el tratamiento de una empresa en particular, dado que en la logística urbana, como un caso particular de la logística regional, convergen y se superponen las logísticas múltiples, así como el conjunto de actividades industriales, comerciales y de servicio que funcionan en el ámbito del territorio y sus relaciones con otras regiones del país y del extranjero.

Figura 1.Esquema Estructura general de la Logística Urbana

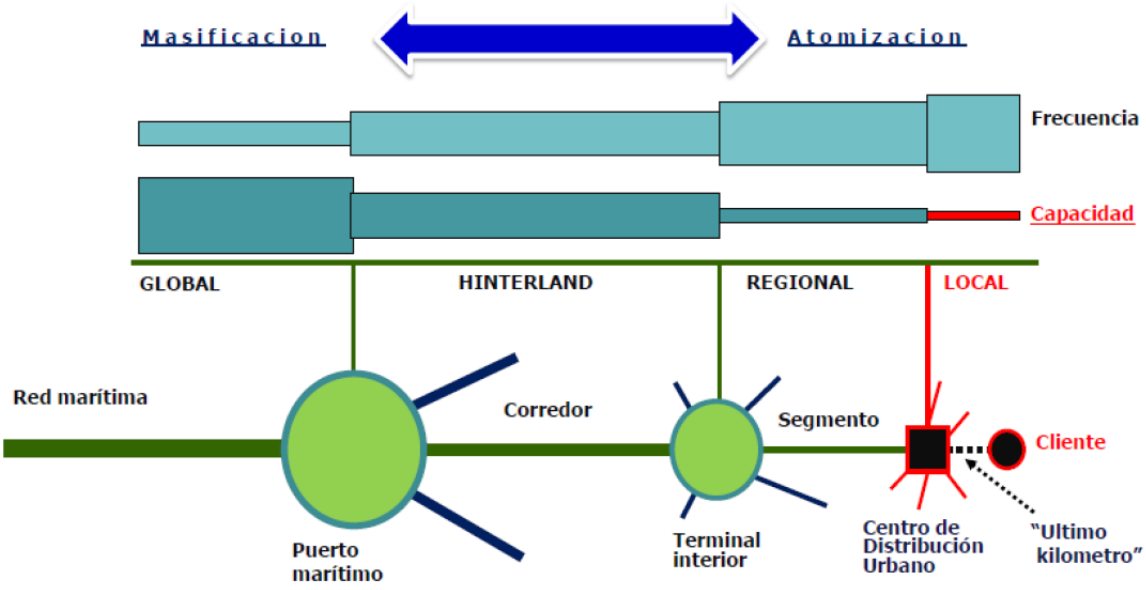


Fuente: (Menoyo, 2006)

Básicamente como lo describe (Menoyo, 2006) la logística urbana enmarca 3 aspectos: nodos generadores y receptores, actividades y efectos en la trama urbana. Estos aspectos se han vuelto más complejos teniendo en cuenta "*la creciente urbanización, el aumento de la demanda de entregas frecuentes y justo a tiempo en áreas urbanas, la creciente competencia por el uso de infraestructuras urbanas limitadas, y el crecimiento de la complejidad de los problemas de competencia transversal que el transporte urbano de bienes genera y se enfrenta*" (Marcário, Galelo, & Martins, 2008).

La logística urbana constituye la última milla (*last mile*) de la cadena logística de suministro, lo cual exige a las administraciones locales de medidas y de infraestructura adecuada que permitan el flujo eficiente de los bienes y servicios. Con una logística urbana competitiva se logra el crecimiento económico de las ciudades y se jalona directamente la economía de un país como Colombia, el cual cuenta con la mayoría de su población en las urbes (CAF, 2012).

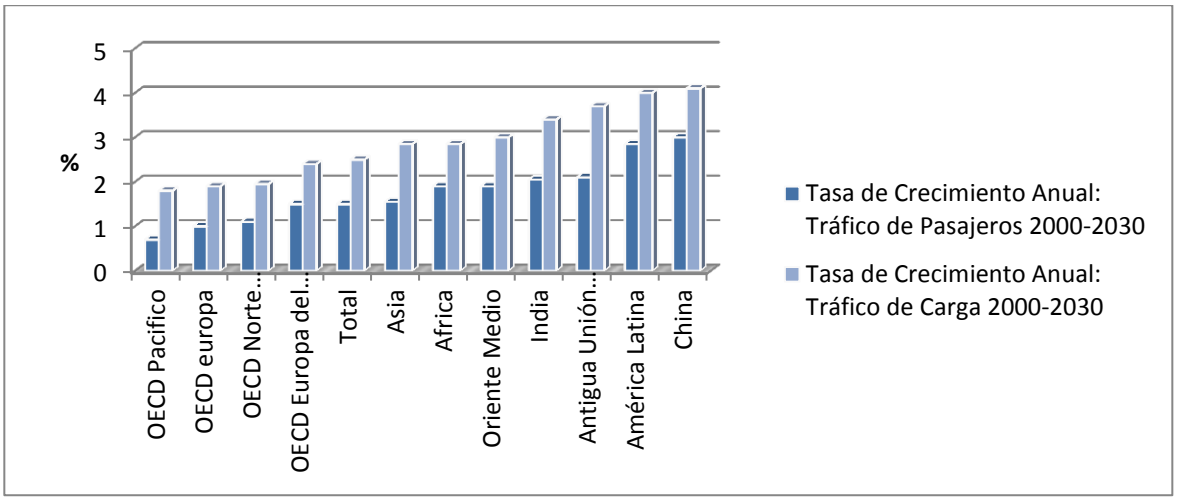
Figura 2.La Última Milla en la Distribución Logística



Fuente: (CAF, 2012)

El transporte de carga presenta una competencia por el espacio urbano con el transporte de pasajeros. Allí, en la última milla, las capacidades de los vehículos de carga son menores, por normativa y condiciones geométricas, obligando a que la distribución de la carga se caracterice por altas frecuencias de los vehículos de carga (ver Figura 2). Según la CAF (2012) este espacio vial urbano ocupado por el transporte de carga puede llegar a ser entre el 20% y el 25% del total. Esta ocupación del espacio urbano por parte de los vehículos de carga cada vez toma mayor relevancia dado que el crecimiento del tráfico de carga en Latinoamérica muestra un comportamiento de crecimiento a un ritmo aproximado al 4% (WBCSD, 2004), el cual es superior al crecimiento de tráfico de pasajeros en esta misma región (ver Figura 3).

Figura 3. Crecimiento del Tráfico de Carga y el Tráfico de Pasajeros



Fuente: Elaboración Propia basado en (CAF, 2012)

El transporte de carga a nivel urbano tiene grandes diferencias con el transporte de carga a nivel regional, nacional e internacional. Existen cinco componentes en los cuales se diferencian:

- El medio de transporte a nivel urbano se realiza predominantemente con camiones pequeños, ya que los otros modos han demostrado ser ineficientes o inflexibles. Mientras que a nivel regional se realizan los envíos con camiones de mediana y gran capacidad, y a nivel nacional e internacional se usan camiones de gran capacidad así como otros modos de transporte como el férreo, el fluvial, aéreo y marítimo (NCFRP;NCHRP, 2012).
- Los envíos a nivel urbano se caracterizan por ser movimientos de cortas distancias y múltiples paradas en un mismo recorrido, por lo cual los tamaños de la carga son pequeños y de forma frecuente a nivel urbano. En los otros niveles geográficos los tamaños de las cargas son mayores (NCFRP;NCHRP, 2012).
- Los impactos en la congestión son altos a nivel urbano debido a que los volúmenes de carga son mayores y las zonas de envíos son diversificadas. En los otros niveles geográficos se pueden encontrar zonas congestionadas a causa de los vehículos de transporte de carga, sin embargo, estas se pueden presentar en puntos específicos y en menor magnitud que en las zonas urbanas (NCFRP;NCHRP, 2012).

- El transporte de carga a nivel urbano tiene mejores oportunidades de encontrar carga al regreso de su viaje por sus largos recorridos y por la misma dinámica que se presentan en las ciudades o áreas metropolitanas. Según (NCFRP;NCHRP, 2012) el porcentaje de viajes vacíos en zonas urbanas está alrededor del 20% y en los otros niveles típicamente alrededor de del 30% al 40%.
- La naturaleza de los clientes también es diferente mientras que a nivel regional, nacional e internacional son una mezcla de empresas manufactureras y consumidores de bienes, en la ciudad predomina el consumo orientado a bienes (NCFRP;NCHRP, 2012).

Como se mencionó anteriormente, los vehículos de transporte de carga que operan en áreas urbanas impactan en la congestión de forma considerable, no obstante, la movilización de carga en la red urbana también causa otros efectos negativos como la emisión de una gran proporción de gases contaminantes por kilómetro recorrido, especialmente por aquellos vehículos que tienen una alta edad. Esto se debe a su gran consumo de combustible por unidad de distancia recorrida y al hecho de que la mayoría de estos vehículos usan diesel como combustible. En el caso de ciudades como Bogotá estos efectos negativos se presentan con mayor preponderancia, dado que existe un mayor número de vehículos de carga movilizándose en la ciudad. "*Para el año 2000, circulaban un total de 19.972 camiones de carga entrando y saliendo diariamente de Bogotá*" (Valencia, 2006). Para el 2010 esta cifra era de 38.541 (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010).

En general, la existencia de transporte de carga y de pasajeros en áreas urbanas genera impactos, en tres sectores:

- Económico: congestión, impacto en vías por tránsito de grandes vehículos de carga, ineficiencia y desperdicio de recursos
- Ambiental: emisiones contaminantes, ruido, uso de combustibles no renovables, desperdicio de productos como llantas, aceite y otros materiales.
- Social: las consecuencias físicas de emisiones contaminantes en la salud pública, los accidentes de tráfico, ruido, la dificultad de realizar viajes necesarios en transporte público o en transporte particular.

Tabla 1.Contribución de emisiones por tipo de vehículo en Bogotá (Ton/año)

Contaminante	Camiones	Buses y Colectivos	Taxis	Vehículos particulares	Motos	Transmilenio
CO_2	838.000	758.000	1.186.000	5.120.000	130.000	84.000
CO	58.000	25.100	48.400	342.600	27.000	226
NO_x	10.200	12.800	12.700	20.100	980	900
THC	3.100	2.800	11.900	37.500	7.700	89
PM	495	554	14	50	380	36

Fuente: Elaboración Propia basado en (Cámara de Comercio de Bogotá , 2010)

Las externalidades negativas descritas anteriormente también se presentan en las ciudades Colombianas. Como se observa en Tabla 1 los vehículos de carga en Bogotá a pesar de no ser los mayores productores de contaminantes, son los segundos productores de gases CO y los terceros o cuartos productores de los gases CO_2, NOx, THC (hidrocarburos totales)y PM (material particulado)en la ciudad de Bogotá.

Al igual, los niveles de servicios de las rutas de vehículos de carga en las ciudades colombianas no son eficientes. Como se observa en la Tabla 2 y la Tabla 3 algunos tramos presentan niveles de servicio bastante deficientes que pueden implicar mayores costos logísticos y una baja competitividad de las ciudades. Esto demuestra que las ciudades colombianas requieren de medidas urgentes que permitan una mejor dinámica en la distribución y acopio de mercancías.

Tabla 2. Niveles de Servicio Rutas de Vehículos de Carga en la Ciudad de Bucaramanga

Tramo	Velocidad promedio (km/h)	Nivel de Servicio vías tipo IV (urbanas)	Nivel de Servicio vías tipo II (rurales)
Tres Esquinas - Lebrija	29,42	C	D
Lebrija – Tres Esquinas	32,31	B	D
Zona Industrial – Km 40	22,67	C	D
Km 40 – Tres Esquinas	23,60	C	E
Rionegro – Tres Esquinas	29,40	C	D
Tres Esquinas - Rionegro	33,16	B	D
Zona Industrial - Lebrija	23,39	C	E
Lebrija – Zona Industrial	30,99	B	D
Zona Industrial – Tres Esquinas	31,70	B	D
Rionegro – Zona Industrial	28,40	C	D
Zona Industrial - Rionegro	30,25	C	D
Tres Esquinas – Km 40	26,06	C	E

Fuente: Elaboración propia basado en (Departamento Nacional de Planeación, 2009)

Tabla 3.Niveles de Servicio de Vehículos de Carga en la Ciudad de Barranquilla

Tramo	Velocidad promedio (km/h)	Nivel de Servicio vías tipo IV (urbanas)
Cordialidad - Pumarejo	29,02	C
Pumarejo - Cordialidad	29,49	C
Cordialidad - Sociedad Portuaria	33,43	B
Sociedad Portuaria - Cordialidad	29,30	C
Pumarejo - Sociedad Portuaria	26,74	C
Sociedad Portuaria - Pumarejo	19,74	D
Calle 30 – Pumarejo	19,77	D
Pumarejo - Calle 30	23,57	C
Calle 30 - Sociedad Portuaria	23,78	C
Sociedad Portuaria - Calle 30	24,11	C
Cantera - Argos – Pumarejo	33,49	C

Fuente: Elaboración propia basado en (Departamento Nacional de Planeación, 2009)

En cuanto a accidentalidad según el Departamento Nacional de Planeación (2009) en las ciudades de Barranquilla y Bucaramanga el 8% y el 5% de los 8.955 y 4.305 accidentes respectivamente fueron con participación de vehículos de carga. Estas cifras aunque en porcentaje representen poco en cantidad de accidentes no son despreciables. Asimismo, se debe considerar que usualmente los accidentes con vehículos de carga presentan mayores pérdidas materiales y mayor probabilidad de presentar heridos y muertos en el suceso. Por lo tanto, son necesarias estrategias que impidan que ocurran mayores accidentes de este tipo de vehículos, disminuyendo las pérdidas de vidas y las pérdidas económicas para las empresas de transporte de carga y los dueños de la misma.

Es preciso concluir que el transporte de carga cuando circula en la red urbana produce una serie de impactos negativos que necesitan ser reducidos, no obstante, la determinación de políticas y normativas, así como el desarrollo de estudios y la construcción de infraestructura del transporte a nivel urbano se ha concentrado estrictamente en los pasajeros. En este sentido, existe la necesidad de analizar, y eventualmente planear y regular el movimiento de vehículos de carga en la ciudad, con el fin de reducir la congestión, incrementar la movilidad, reducir la emisión de gases contaminantes y el ruido, evitar las indebidas actividades comerciales, y aumentar la eficiencia en la operación del transporte (Anderson, Allen, & & Browne, 2005).

A pesar que en el caso colombiano también las políticas y normativas son enfocadas al transporte de pasajeros, el Gobierno como promotor de estrategias de competitividad, de transporte e infraestructura, ha establecido algunas normas y políticas dirigidas a la reglamentación y regulación del transporte de carga.

1.1 Marco Normativo y de Política de logística Urbana en Colombia

La Ley 388 de 1997 establece las herramientas y principios para que cada municipio estructure los planes de ordenamiento territorial. En esta Ley no se disponen normativas específicas con respecto a manejo de transporte de carga dentro del ordenamiento territorial, sin embargo, se hace referencia a la necesidad de desarrollar infraestructura y

proyectos de transporte, así como a realizar un articulación del ordenamiento socioeconómico con el ordenamiento físico territorial.

Posteriormente, en el año 2006 se aprobó la Ley 1083, por medio de la cual se implantaron algunas normas sobre planeación urbana sostenible, y particularmente se estableció que los municipios y distritos que deben adoptar Planes de Ordenamiento Territorial formularán y adoptarán Planes de Movilidad. Estos planes deben identificar los componentes relacionados con la movilidad incluidos en el POT, articular los sistemas de movilidad con la estructura urbana propuesta en el POT, reorganizar las rutas de transporte público y tráfico sobre ejes viales que permitan incrementar la movilidad y bajar los niveles de contaminación, crear zonas sin tráfico vehicular, crear zonas de emisiones bajas e incorporar un Plan Maestro de Parqueos. Esta Ley, al igual que la Ley 388 de 1997, no establece un lineamiento o normativa específica que permita una apropiada planeación y regulación de la logística urbana, a pesar de esto, hace referencia a la organización de la movilidad en la estructura urbana, por lo cual, necesariamente está involucrado el transporte de carga urbano. Así, los Planes de Movilidad deben realizar un diagnóstico de la logística urbana de carga que analice los movimientos de carga actuales y futuros, la infraestructura, los equipamientos con los que cuenta la ciudad para garantizar su transporte, y los puntos críticos del sistema. Asimismo, el Plan de Movilidad debe desarrollar un plan estratégico de movilidad y accesibilidad para el transporte de carga orientado a reasignar el tráfico de vehículos de carga en las vías, jerarquizar la malla vial para el manejo de carga y las recomendaciones de infraestructura para el manejo de carga.

La Resolución 3236 de 2012 del Ministerio de Transporte resuelve que en las temporadas especiales que indica esta misma resolución como puentes festivos, semana santa, temporada vacacional de navidad y año nuevo, y domingos, el flujo vehicular de los vehículos de carga con capacidad igual o mayor de 3,4 toneladas y de vehículos de carga extra-dimensionada podrá ser restringido en cualquiera de las vías nacionales. Se exceptúa dicha restricción a aquellos vehículos de carga que transporte por lo menos el 80% del peso de:

- Periódico con ediciones del día.
- Especies avícolas, huevos, leche, lácteos, carne, frutas, verduras, flores y hortalizas.

- Ganado de lidia, especies pecuarias y equinos de competencia o exposición.
- Arroz paddy, maíz, sorgo y soya, con destino a las plantas de procesamiento o empacado.
- Desechos sólidos de origen domiciliario y desechos líquidos.
- Oxígeno medicinal en estado gaseoso y líquido, identificado con los números 1072 y 1073 de la ONU, siempre que sean transportados en cilindros o en tanques criogénicos con la debida identificación exterior.
- Combustibles: gasolina, ACPM, biodiesel, alcohol carburante y Gas Natural Comprimido (GNC).
- Caña de azúcar y bagazo de caña de azúcar.
- Maquinaria y/o herramientas para atender emergencias en la infraestructura vial, oleoductos y de servicios domiciliarios del país

1.1.1 Políticas de Transporte Automotor de Carga

Por otra parte, la Ley 105 de 1993, la ley marco del transporte en Colombia, indica que "El transporte de carga será prestado por personas naturales o jurídicas debidamente autorizadas por las autoridades y el Gobierno Nacional regulará su funcionamiento. El Gobierno establecerá los lineamientos para que el transporte de carga se lleve a cabo bajo condiciones de seguridad y eficiencia. Igualmente no existirán restricciones para rutas y frecuencias, estas serán determinadas por el mercado. El Gobierno Nacional podrá establecer condiciones técnicas y de seguridad para la prestación del servicio y su control será responsabilidad de las autoridades de tránsito".

La Ley 336 de 1996 "*Por la cual se adopta el estatuto nacional de transporte*" aclara que el Ministerio de Transporte tan solo establecerá, la vida útil, las condiciones, requisitos y plazos para la reposición de los equipos de servicio público de carga que tengan radio de acción distinto al urbano, es decir que el Ministerio no tiene dichas competencias en el transporte de carga a nivel urbano. También establece que se deberá realizar inmovilización o retención de los vehículos cuando se compruebe que el equipo excede los límites permitidos sobre dimensiones, peso o carga. En el entorno urbano dichas especificaciones dependen de la autoridad de transporte local y generalmente los tipos de camiones utilizados oscilan entre los pequeños de 7 a 15 toneladas, en las rutas de

recolección de Bogotá los pesos máximos son de 25 toneladas en las macro rutas que generalmente circulan en la periferia de la ciudad (Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá, 2006).

El Código Nacional de Tránsito, Ley 769 de 2002, contiene la normatividad general en tránsito, la cual debe ser cumplida por los vehículos de transporte de carga. En esta ley, con respecto al transporte de carga, se determinan algunas medidas a las condiciones de carga, permisos de carga, placas, zonas y horarios de estacionamiento, emisiones fugitivas provenientes de la carga, y protección, higiene y seguridad de la carga.

Según la Ley 1625 de 2013 “Por el cual se deroga la Ley Orgánica 128 de 1994 y se expide el régimen para las áreas metropolitanas” las áreas metropolitanas deben realizar el Plan Integral de Desarrollo Metropolitano y Plan Estratégico Metropolitano de Ordenamiento Territorial en el cual se definan los lineamientos para la localización de la infraestructura de transporte de escala metropolitana y se establezca el sistema metropolitano de vías y transporte. Al igual, definió como función del Director del Área Metropolitana expedir los actos administrativos correspondientes para asegurar el funcionamiento de los sistemas de gestión de tránsito y transporte (Sistemas Inteligentes de Transporte) de acuerdo con el marco normativo establecido por el Gobierno Nacional. Es pertinente aclarar que en la Región Capital no se ha constituido ninguna Área Metropolitana.

Por último, el Decreto 173 de 2001, “*por el cual se reglamenta el Servicio Público de Transporte Terrestre automotor de Carga*”, establece que para todos los efectos a que haya lugar, el Servicio Público de Transporte Terrestre Automotor de Carga será regulado por el Ministerio de Transporte y la inspección, vigilancia y control de la prestación de este servicio estará a cargo de la Superintendencia de Puertos y Transporte. Adicionalmente, se reglamenta la habilitación de las empresas y la prestación de estas empresas de un servicio eficiente, seguro, oportuno y económico, bajo los criterios básicos de cumplimiento de los principios rectores del transporte, como el de la libre competencia y el de la iniciativa privada, a los cuales únicamente se aplicarán las restricciones establecidas por la Ley y los convenios internacionales.

1.1.2 Políticas y Normativa de Competitividad

En cuanto a lineamientos de política, el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014: Prosperidad para Todos, en el Capítulo de Infraestructura para la Competitividad indica que "*el Gobierno Nacional, a través de la Unidad Técnica de Ejecución Logística-UTEL*[1]*, apoyará a los entes territoriales en la articulación de sus planes logísticos con sus planes de ordenamiento territorial y de movilidad urbana. En particular, la UTEL asistirá en el diseño de herramientas que orienten la gestión logística, y permitan identificar y aumentar los impactos positivos que estas iniciativas generan en la funcionalidad del transporte y el entorno urbano local*" Es decir que con este apoyo los planes logísticos serán un elemento preponderante para el desarrollo de la competitividad, movilidad y estructura urbana de las ciudades.

La Ley 1450 de 2011, la cual expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 introduce el concepto de Infraestructuras Logísticas Especializadas (ILE), las cuales son áreas donde se realizan actividades logísticas para el comercio de mercancías y se podrán localizar, dependiendo de la revisión de los POT, en suelo urbano, de expansión urbana y rural.

El documento CONPES 3527 "Política Nacional de Competitividad y Productividad" 3527 de 2008 estableció cinco estrategias que buscan solucionar las deficiencias en financiación de proyectos de infraestructura y en la regulación y la normatividad del transporte de carga, la infraestructura y la logística. Estas estrategias son atraer financiación privada en infraestructura, regular el transporte de carga, fortalecer el marco regulatorio de la infraestructura, establecer la política nacional de logística y priorizar los proyectos estratégicos de infraestructura y logística para la competitividad.

Igualmente, el documento Conpes 3547 de octubre 27 de 2008 "*Política Nacional Logística*" resalta la importancia de la logística urbana en la cadena de abastecimiento,

[1] La UTEL es una Unidad Técnica compuesta por equipos del Departamento Nacional de Planeación y del Ministerio de Transporte, creada en el marco del Sistema Nacional de Competitividad e Innovación, y que interactúa con Presidencia de la República a través de la Alta Consejería para la Competitividad y Proyectos Estratégicos.

por lo cual manifiesta que resulta imperante adelantar estrategias para mejorar la movilidad de las ciudades en cuanto al manejo de la distribución interna de bienes, y evidencia la necesidad de desarrollar herramientas de planificación urbana que orienten a los entes territoriales en la formulación de planes logísticos de manejo de carga que permitan identificar la infraestructura, equipamientos urbanos y medidas de control para mejorar las necesidades y facilitar el manejo del transporte de carga urbano.

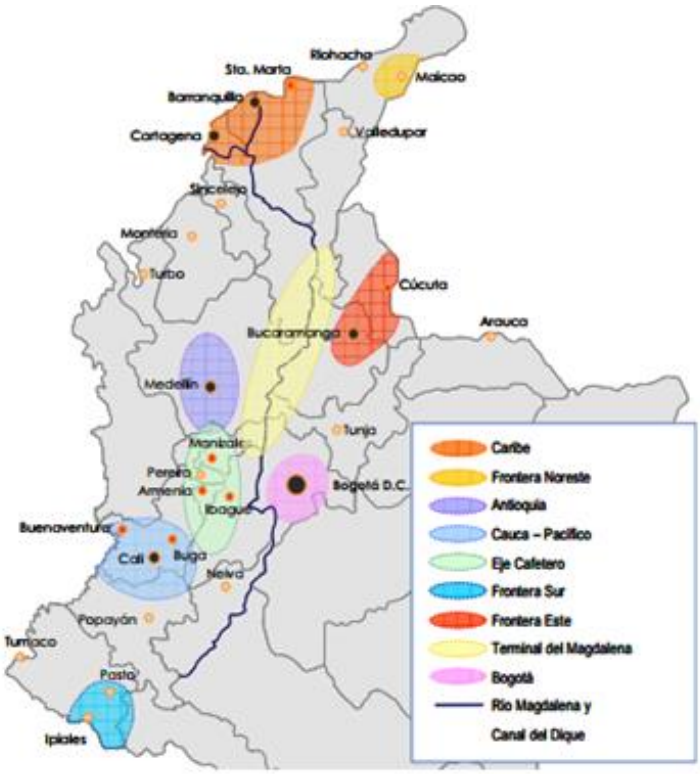
Se encuentra que Colombia cuenta con un marco normativo y de regulación y fomento de la logística urbana aún limitado pero suficiente para que las ciudades desarrollen sus estrategias de ordenamiento logístico. Pese a esto, la mayoría de las ciudades no han desarrollado planes de ordenamiento logístico adecuados y articulados con sus respectivos planes de movilidad, lo cual afecta la eficiencia operativa del transporte de carga en las ciudades, e implicando pérdidas económicas para las ciudades.

Para lograr ciudades con consolidación y distribución de su carga de forma óptima, es necesario que las ciudades Colombianas desarrollen estrategias para el transporte de carga urbano enfocadas en: " i) *La regulación de los usos del suelo, ii) La regulación de la circulación de vehículos de carga en la ciudad iii) La reglamentación de operaciones de carga y descarga y estacionamientos iii) normatividad para la operación de empresas de transporte y para operadores de transporte multimodal iv) El marco jurídico y legislación para implantación y operación de infraestructuras logísticas*" (Machado, 2006).

1.1.3 Planes Urbanos Logísticos para la Gestión de la Carga

El Documento CONPES "Política Nacional Logística" 3547 de octubre 27 de 2008 definió que un territorio tendrá facultades para convertirse en ámbito logístico cuando presente madurez en el sector productivo de valor agregado y de consumo, de forma que la presencia de las plataformas logísticas permita impulsar la actividad logística. Este documento estableció nueve ámbitos logísticos en el país para el desarrollo logístico (ver Figura 4)

Figura 4.Ámbitos Logísticos en Colombia



Fuente: (CONPES, 2008)

Asimismo, dicho documento recomendó implementar una red de veinte plataformas logísticas, de las cuales dieciséis se ubican en entornos urbanos (ver Figura 5).

El modelo de gestión planteado para el desarrollo de estas plataformas involucra a tres actores:

- Gobierno Nacional:
  - Busca la orientación de inversiones y proyectos de impacto para el comercio interior y exterior
  - Define la política nacional para el desarrollo de plataformas logísticas
  - Establece los criterio urbanísticos y operacionales
- Regional y Local:
  - Planificar la infraestructura de carácter regional y/o local
  - Adaptar los planes urbanos y regulaciones urbanas a los lineamientos de nivel nacional
- Privado:
  - Desarrollo de proyectos de alto impacto
  - Inversiones

Figura 5. Plataformas Logísticas

Fuente: (CONPES, 2008)

1.2 Estudios de Logística Urbana en Colombia

En Colombia se han realizado pocos estudios con el objeto de caracterizar y proponer soluciones de la demanda de transporte de carga urbano y se encuentra que la mayoría de los estudios de logística urbana realizados son de la ciudad de Bogotá. A continuación se presentan algunos estudios de transporte de carga urbana en Colombia.

1.2.1 Plan Maestro de Transporte Urbano de Santafé de Bogotá en la República de Colombia-JICA (1996)

Adicionalmente “El estudio del Plan Maestro de Transporte Urbano de Santafé de Bogotá en la República de Colombia’’ realizado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) en el año 1996, efectuó encuestas a compañías con el objeto de obtener información sobre los viajes de vehículos de mercancías, especialmente los camiones

pesados, así como la relación de producción de viajes de carga. El método consistía en visitar las compañías y obtener la información directamente sobre los viajes hechos por los vehículos de su propiedad.

Las compañías que se entrevistaron fueron seleccionadas mediante el método de muestreo aleatorio y la información sobre los viajes de los vehículos de mercancías fue obtenida del día designado. Los puntos tratados en la entrevista fueron los siguientes:

- Características generales de la compañía:
    - Nombre de la compañía
    - Dirección|
    - Tipo de Negocio
    - Número de Empleados
    - Número de Vehículos de propiedad de la compañía
- Información sobre los viajes de cada vehículo
    - Periodo en que se reunirá la información sobre los viajes
    - Numeración de las hojas
    - Tipo de Vehículo
    - Frecuencia de uso de los vehículos por semana
    - Origen
    - Hora de salida
    - Destino
    - Hora de Llegada
    - Número de pasajeros incluido el conductor
    - Carga
    - Peso
- Tipo de Vehículos

Como se consideró anteriormente, la realización de encuestas a las empresas y actores implicados en el transporte de carga son importantes para determinar las dinámicas según la economía, no obstante, resulta poco provechosa ya que en muchos casos las

encuestas no ayudan a identificar los desplazamientos de menor escala así como viajes que se originan fuera del casco urbano.

1.2.2 Estudio de Carga Departamento Administrativo de Planeación Distrital-DAPD - 2000

En el año 2000 el Distrito Capital desarrolló un estudio acerca del transporte de carga el cual fue contratado por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital mediante el Contrato 154/99, y tuvo como objetivo "*analizar la situación del transporte de carga en la ciudad y proponer acciones de infraestructura, operativas, legales y ambientales que permitan ordenar y mejorar su operación teniendo en cuenta el POT y consideraciones de orden socioeconómico*" (Valencia, 2006) (Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2000).

Vale la pena tener en cuenta que este estudio cuenta con información importante de la movilidad de carga interna en el 2001, por lo cual se utilizó como base para la aplicación de los modelos utilizados en el presente estudio investigativo.

1.2.3 Plan Maestro de Abastecimiento de Alimentos para el Distrito Capital (2005)

Con el fin de proponer mecanismos de abastecimiento para la cadena logística de suministro de productos agrícolas y perecederos dentro de la capital, se desarrolló el Plan Maestro de Abastecimientos de Alimentos y Seguridad Alimentaría para Bogotá en el 2005. Este Plan fue adaptado mediante Decreto 315 del 15 de agosto de 2006.

En cuanto a logística e infraestructura el plan promueve el desarrollo de herramientas de infraestructura física y su conocimiento y entendimiento por tenderos, operadores logísticos, trasportadores y pequeños productores de alimentos, orientados a generar eficiencia a todos los procesos, de tiempo, calidad y costos en las transacciones de la cadena de valor de los alimentos.

1.2.4 Plan Maestro de Movilidad de Bogotá (2006)

En el Plan Maestro de Movilidad de Bogotá para caracterizar el transporte de carga a nivel urbano fueron efectuadas varias entrevistas y/o sesiones de trabajo a entidades públicas y empresas privadas.

También se efectuaron varios recorridos por zonas conflictivas de la ciudad desde el punto de vista de la circulación y estacionamiento de camiones entre ellos: Fontibón, Puente Aranda, Gorgonzolo, Calle 6 con 13, Corabastos, San Andresito etc.

Para el análisis de los volúmenes de los flujos de camiones que arriban y salen de Bogotá y de sus características principales se realizaron aforos y encuestas. En la siguiente figura se muestra un esquema general de la localización de los sitios donde se realizaron los trabajos de campo correspondientes (Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá, 2006).

Las entrevistas realizadas brindan un gran soporte para estimar el flujo de carga según la dinámica empresarial y económica, sin embargo, el estudio de volúmenes tiene la debilidad de tan sólo considerar lo que entra y sale del casco urbano de Bogotá lo cual impide establecer con claridad los orígenes y destinos internos de carga en la zona urbana de Bogotá.

Figura 6.Puntos encuestas y aforos Plan Maestro de Movilidad Bogotá

Fuente: (Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá, 2006)

En el desarrollo de este plan se analizó integralmente la cadena alimentaria haciendo principalmente énfasis en la demanda y se encontró que existen cuarenta y dos plazas de mercado, de las cuales 24 son privadas y las demás son distritales.

1.2.5 Estudio Centros de Actividad Logística de Carga de Bogotá (CALCAB) (2007)

En el 2007 la Secretaría de Movilidad de Bogotá contrató el estudio para el Diseño de un Sistema de Centros de Actividad Logística en el Marco de una Estrategia de Movilidad de Mercancía en Bogotá y su Integración con la Región, y Estructuración Técnica, Legal Y Financiera de la Primera Fase.

Este estudio ajustó y complementó el diagnóstico de movilidad de mercancías efectuado dentro del Plan de Ordenamiento Logístico y asimismo caracterizó las prácticas logísticas, diseñó una estrategia de movilidad de mercancías y logística de carga para orientar la acción pública y realizó el diseño conceptual y estudios de factibilidad de centros logísticos de carga para el Distrito (Secretaría Distrital de Movilidad, 2008).

Este estudio cuenta con información importante de la movilidad de carga interna en el 2007, por lo cual se utilizó para la aplicación de los modelos utilizados en el presente estudio investigativo.

1.2.6 Estudios Planes Urbanos Logísticos para la Gestión de Carga (2009)

En el 2009 el Departamento Nacional de Planeación contrató a la firma Steer Davies & Gleave para cuantificar el tráfico de carga que circula por las ciudades piloto del estudio Barranquilla y Bucaramanga. El estudio tuvo como objetivo asesorar al Gobierno Nacional en el diseño de planes urbanos logísticos para la gestión y movilidad de carga en ciudades colombianas con base a la información recolectada de las ciudades piloto.

La metodología utilizada por Steer Davies & Gleave se basó principalmente en la realización de aforos para determinar las características y los flujos de tránsito de vehículos de carga y al igual la realización de encuestas sobre la vía para determinar el tipo de carga que se moviliza. Esta metodología aunque puede caracterizar de forma muy apropiada los movimientos de carga en las principales arterias de la ciudad tiene la dificultad en determinar el transporte de carga a una escala más local y así mismo en estimar los posibles cambios que se presentan por las variaciones económicas.

1.2.7 Estudios Matriz Origen Destino Transporte de Carga Bogotá (2010)

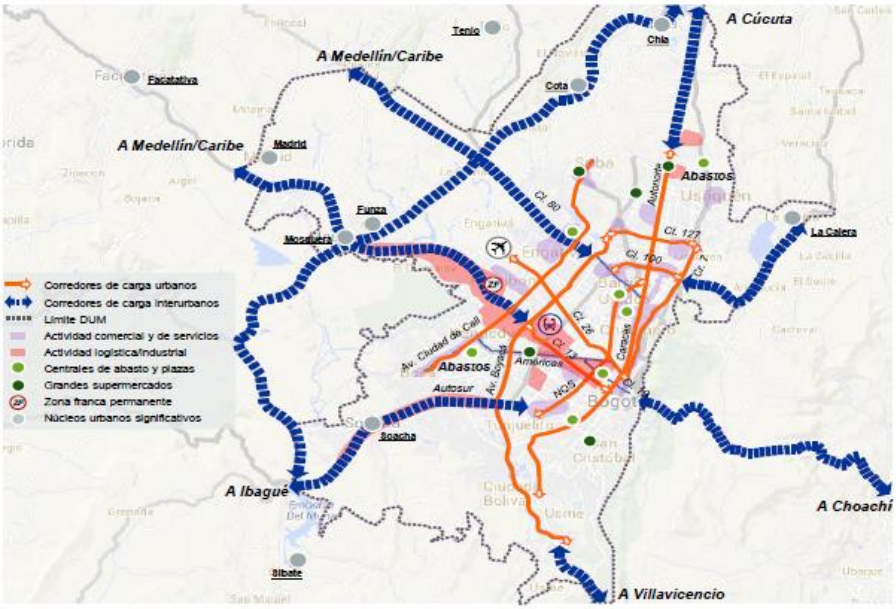
En el 2010 la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá contrató el Estudio para determinar la matriz origen destino de carga y desarrollo de acciones para la regulación de carga interna en la ciudad. El estudio caracterizó el tránsito y transporte de carga urbano de Bogotá, identificó y caracterizó la red vial jerarquizada de corredores de movilidad de carga, y plateó acciones de corto, mediano y largo plazo para la regulación y gestión del transporte de carga en la ciudad y distribución de mercancías.

Este estudio presenta una gran fuente de información para establecer acciones en el ordenamiento logístico de Bogotá, ya que determina cuales son las zonas generadoras y atractoras de viajes de transporte de carga en la ciudad de Bogotá, e identifica las características del tránsito y del transporte de carga.

1.2.8 Sistema de Indicadores Logísticos en Centros Urbanos (2013)

Este estudio el cual tiene como objeto "Estructurar una Herramienta que Permita Capturar, Analizar, y Difundir la Información de Manejo de la Carga en los Principales Centros Urbanos del País y Formular un Modelo Cuantitativo que Facilite la Toma Eficiente de Decisiones en Materia de Políticas Públicas en el Manejo de Carga de las Ciudades y la Priorización de Inversiones Públicas y Privadas" se construyó una herramienta informática para la gestión de transporte de carga a nivel urbano. En este estudio se identificaron indicadores cuantitativos en los ejes: Datos Generados, Infraestructura de Transporte, Infraestructura Logística, y Servicios de Transporte y Logística, para un total de 69 indicadores. Sin embargo, teniendo en cuenta un análisis en disponibilidad de información y la conceptualización de los pilares temáticos eficiencia logística de entorno urbano, desempeño operacional, e impacto de la logística, la propuesta de indicadores se ajustó a indicadores.

Figura 7. Mapa Funcionalidad Bogotá D.C



Fuente: (Departamento Nacional de Planeación, 2013)

La mayoría de los indicadores analizados en este estudio de consultoría fueron tenidos en cuenta en la aplicación de los modelos estudiados en éste estudio de investigación. Es importante que el Distrito de Bogotá y las principales ciudades colombianas adopten estos indicadores con el fin de gestionar eficientemente el transporte de carga que circula en sus territorios y asimismo proveer de insumos a los planificadores de transporte para la modelación de transporte de carga urbana.

2. Análisis de la Logística Urbana de la ciudad de Bogotá

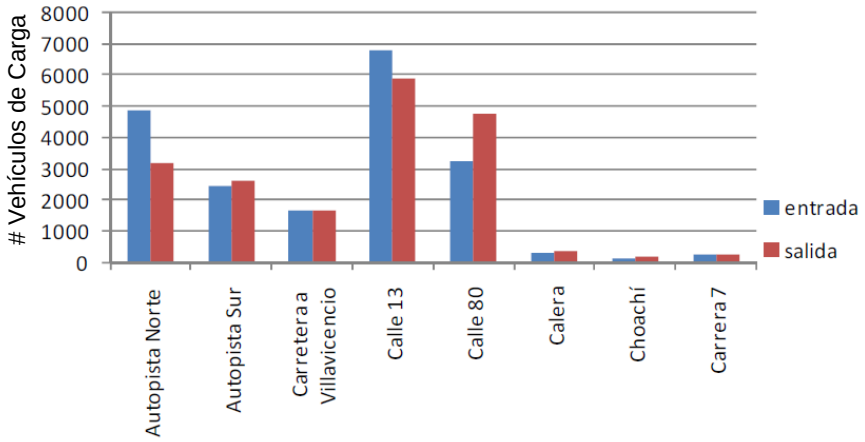
Lo logística urbana en la ciudad capital es de suma importancia por la magnitud de los viajes que se presentan y las externalidades que ello conlleva. El análisis de los viajes de vehículos de carga, del volumen de carga, y de los tipos de carga que se movilizan en Bogotá ayudará a entender la dinámica de este sector del transporte.

A continuación se revisa la situación conocida del transporte de carga de Bogotá, la cual servirá de referencia para analizar la implementación de los modelos de transporte de carga urbano que se estudian en los capítulos siguientes de este documento.

2.1 Flujos Vehiculares de Carga en Bogotá

Según la (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010) en Bogotá entran en un día promedio 19.648 vehículos de carga y salen 18.893 para un flujo total de 38.541 vehículos diarios. Las cuatro principales vías con mayor flujo de estos vehículos se presentan en primer lugar en la Calle 13 con un flujo de 6.769 vehículos que entran y 5.881 que salen diariamente, en segundo lugar la Autopista Norte con un flujo de 4.844 de entrada y 3.184 de salida diariamente, en tercer lugar y con un flujo neto similar la Calle 80 con 3.233 vehículos de carga de entrada y 4.782 vehículos de carga de salida diariamente, y en cuarto y quinto lugar la Autopista Sur y La vía a Villavicencio respectivamente. Los otros puntos de flujos, la Calera, Choachí y Carrera Séptima representan el 4% del flujo vehicular de carga en accesos a Bogotá.

Figura 8. Flujo Vehículos de Carga Accesos Bogotá



Fuente: (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010)

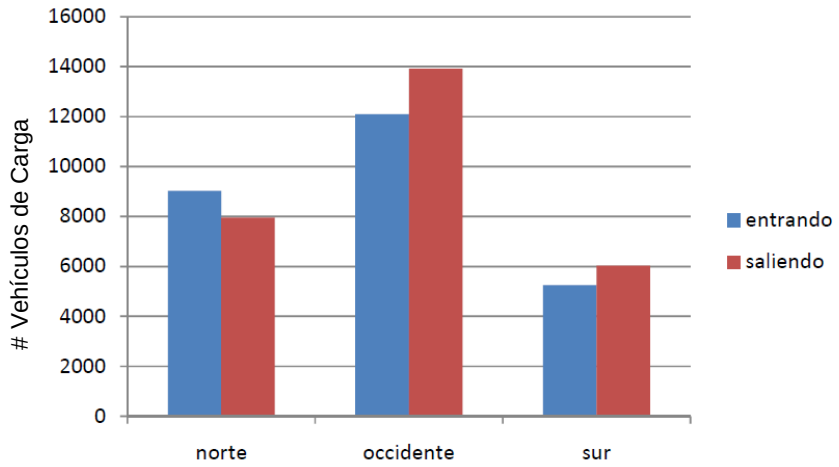
En la Figura 8 se observa que la Autopista Norte y la Calle 13 son vías esencialmente de entrada y que la Calle 80 es una vía de Salida. Los demás puntos de accesos presentan un flujo equilibrado.

"*Con respecto a la tipología de camión que ingresa y sale de la ciudad se encontró que los más frecuentes son el camión de 2 ejes de estacas (28,3%) seguido del camión de reparto (tipo furgón) también de 2 ejes (16,6%) y las volquetas (de 2 y 3 ejes) con 13,4% y los camiones de reparto pequeño de 2 ejes (7,8%). El punto en donde se observa una mayor participación de vehículos de mayor tamaño es en el acceso por la Autopista Sur, en este punto las llamadas "tractomulas" hacen cerca de un 25% del tráfico total*" (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010).

En el cordón intermedio delimitado por el estudio de la (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010) entre el límite urbano de la ciudad, la Avenida Boyacá y la Calle 127, incluye equipamientos como Corabastos, Aeropuerto El Dorado, zona franca, sector industrial. El flujo vehicular de carga en un día hábil registrado que transita por este cordón fue de un total de 54.264, 26.366 entrando y 27.898 saliendo, cuyos puntos de mayor flujo encontrados respectivamente fueron Avenida Boyacá x Calle 13 (Occidente), la Autopista Norte x 127 (Norte), Avenida Boyacá x Autopista Sur (Sur), la Avenida Boyacá x 127 (Norte), Avenida Boyacá x Américas (Occidente), Avenida Boyacá x Calle 26 (Occidente),

Avenida Boyacá x 1 de Mayo (Sur), la Avenida Boyacá x Calle 80 (Occidente), y Avenida Boyacá x la Av. Esperanza (Occidente).

Figura 9. Distribución de Flujo Vehicular de Carga en el Cordón Intermedio



Fuente: (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010)

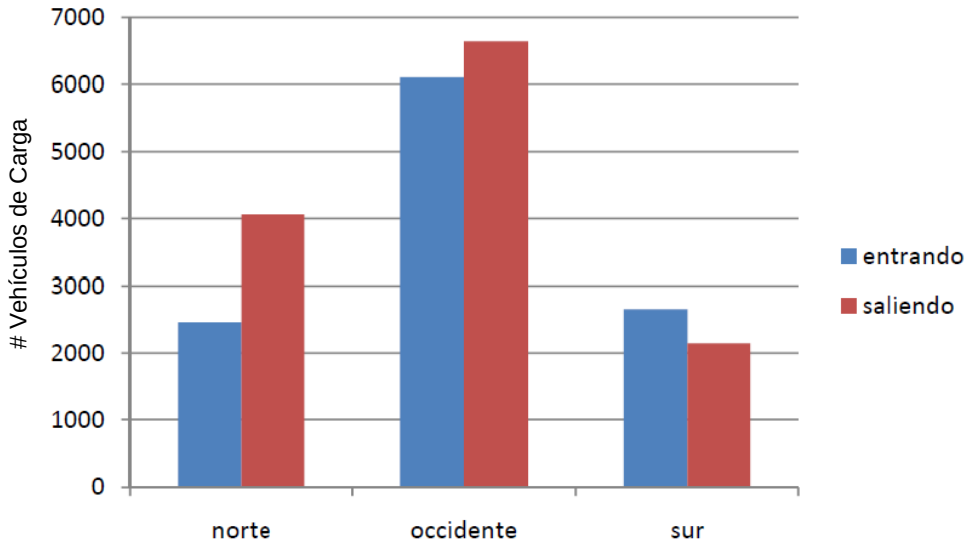
Consolidando todos los puntos de muestra del cordón intermedio se puede encontrar que el sector occidental de este cordón es el que presenta mayores flujos vehiculares de entrada y salida, seguido por el sector norte y el sector sur. El único sector que presenta más entradas que salida es el sector norte, esto puede deberse a que allí en esta zona no se encuentran consolidadas grandes zonas industriales que produzcan salidas de productos.

"*La composición vehicular del cordón intermedio muestra una preponderancia de vehículos pequeños (C2G y C2P) ingresando o saliendo del sector intermedio de la ciudad. Esto se asocia con la mayor densidad de locales comerciales e industria liviana en este sector*" (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010).

En cuanto al cordón interno establecido por el estudio de (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010) entre el cordón intermedio, la Calle 100, Carrera 30 y la Avenida Primera de Mayo, se encuentra gran variedad de usos de suelo como zonas residenciales, comerciales e institucionales. En total fluyen diariamente en este cordón 24.287 vehículos de carga, 11.208 de entrada y 13.079 de salida, y cuyos puntos de

mayor flujo encontrados respectivamente fueron: Avenida NQS x Calle 6, Avenida NQS x Calle 13, y Avenida NQS x Calle 19, Avenida NQS x Calle 80 y Avenida NQS x Calle 72.

Figura 10. Distribución de Flujo Vehicular de Carga en el Cordón Interno



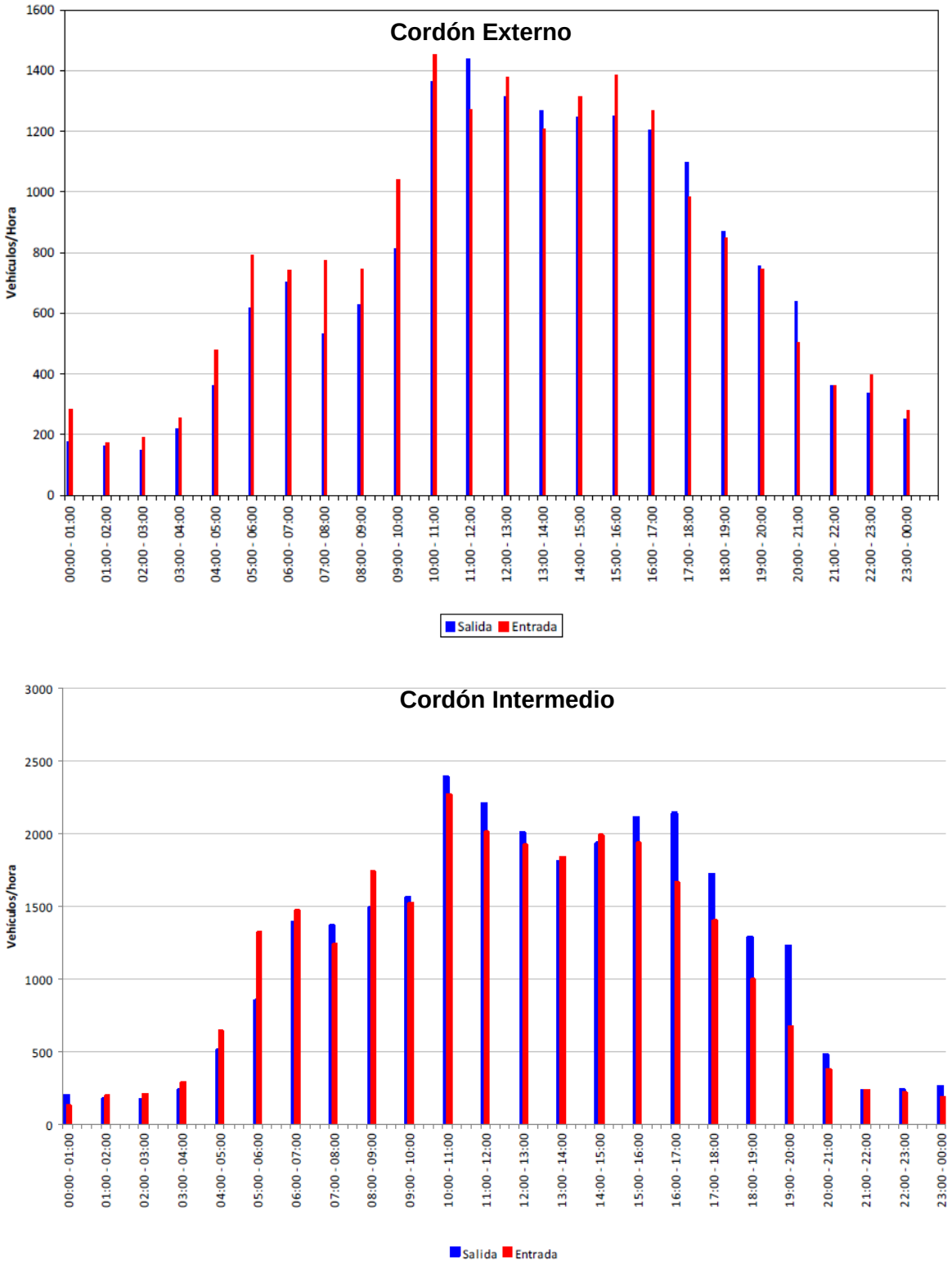
Fuente: (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010)

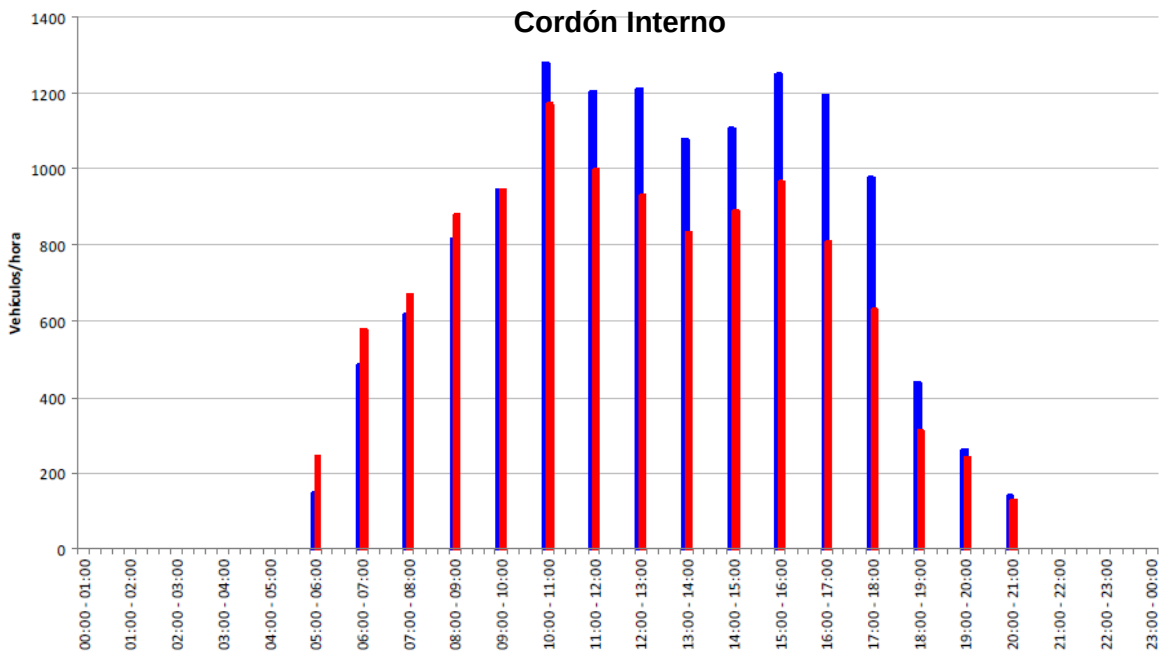
Al igual que en el cordón intermedio el mayor flujo se presenta en el sector occidental, seguido del sector norte y del sur, sin embargo, en este cordón es el sector sur quien presenta una mayor entrada que salida de vehículos de carga.

"*Continuando con la tendencia observada en los cordones externos el porcentaje de vehículos de más de tres ejes que ingresa al sector interno es muy limitado*." (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010).

En el 2010 la hora pico de salida y entrada de vehículos de carga para los tres cordones se encontraba de 10:00 am a 11:00 am con una distribución al igual similar en los tres cordones (ver Figura 11). A pesar de que la tendencia es similar, se observa que en el cordón interno la entrada de vehículos es significativamente inferior entre las 10:00 y las 19:00 horas. En los demás perfiles los vehículos de entrada y de salida resultan ser aproximadamente similares a lo largo del día.

Figura 11. Perfil del Flujo Vehicular del Transporte de Carga en el Cordón Externo, Intermedio, e Interno





Fuente: (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010)

Por otra parte, la Figura 11 muestra que a lo largo del día el cordón que presenta una mayor magnitud de vehículos por hora es el intermedio con un aproximado de 2.400, lo cual se debe a que en esta zona se encuentran los principales sectores industriales y comerciales, y asimismo se presenta la mayor parte de la desconsolidación de la carga, causando así un mayor número de vehículos para movilizar un determinado volumen de carga. En el sector interno a pesar de que allí se presenta un mayor número de vehículos pequeños es el que muestra un menor número de vehículos en su hora pico. Esto se debe principalmente a que allí están ubicadas zonas de oficinas las cuales no generan ni demandan las magnitudes de transporte de carga de una zona industrial u comercial.

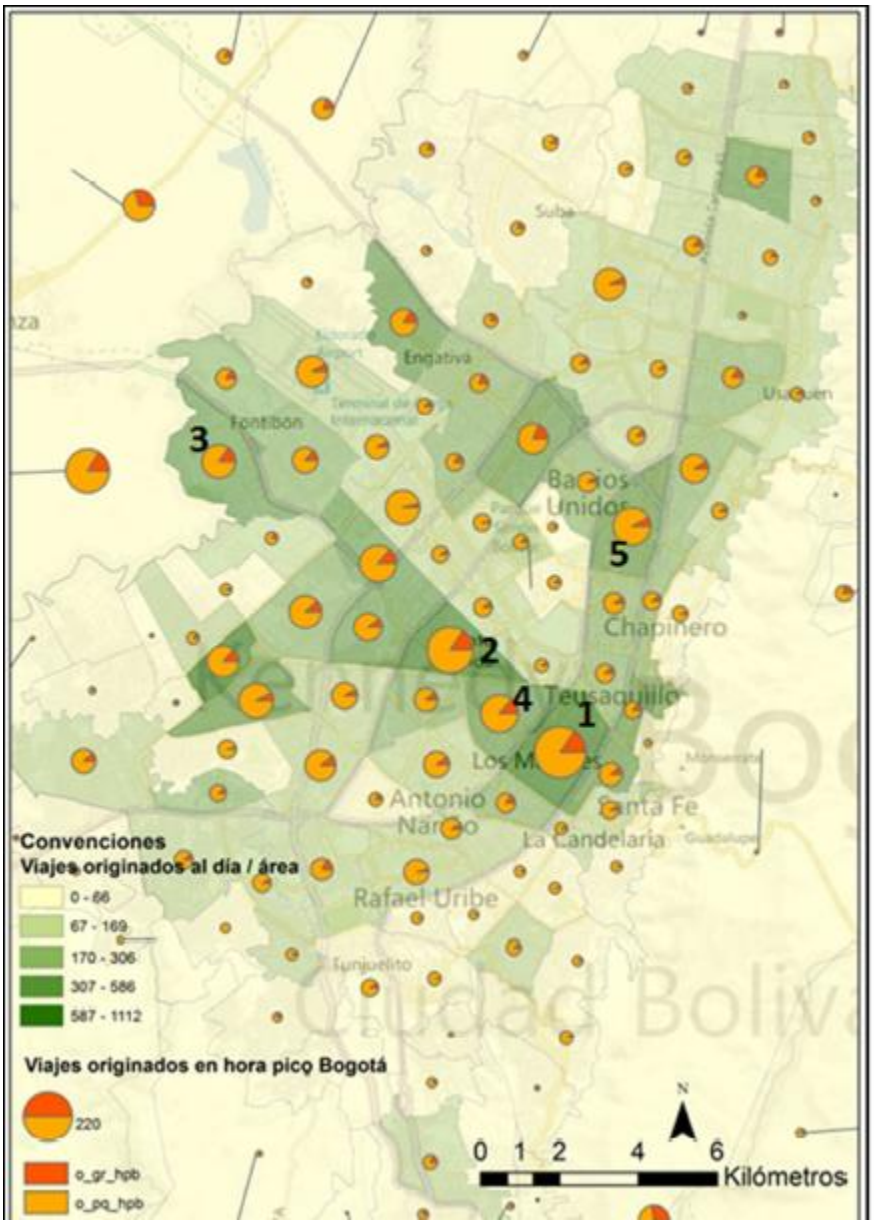
2.2 Generación y Atracción de Viajes de Carga en Bogotá

En cuanto a la generación de viajes de vehículos de carga de las 112 Unidades de Planeamiento Zonal-UPZ, se encuentra que aquella que genera mayores viajes es la UPZ de La Sabana con alrededor de 237 viajes en la hora pico (Universidad de Los Andes, 2013) (Secretaría Distrital de Planeación, 2011). Dicha UPZ se encuentra dentro de la localidad de Los Mártires, tiene una extensión de 451 hectáreas, limita al norte con

la Avenida de Las Américas y la Calle 26, por el este con la Avenida Caracas, por el sur con la Calle 6 y por el oeste con la Carrera 30 (Secretaría Distrital de Planeación, 2009). Las UPZ que le continúan en generación de viajes en hora pico son Puente Aranda con 191, Zona Franca con 156, Zona Industrial con 127 y Los Alcáceres con 126 (Universidad de Los Andes, 2013). Como se muestra en la Figura 12 la mayoría de los viajes generados en todas las UPZ son por vehículos pequeños de dos ejes y los viajes generados por vehículos grandes de más de dos ejes se encuentran aproximadamente en un 20%.

La razón por la que la UPZ de La Sabana genera la mayoría de viajes se debe a que esta es una de las UPZ que cuenta con un mayor número de establecimientos industriales (1552 en el año 2005) (Secretaría Distrital de Planeación, 2009); además de que estas industrias por su pequeño tamaño se caracterizan por generar un mayor número de viajes que las industrias más grandes.

Figura 12. Viajes de Transporte de Carga Generados por UPZ



Fuente: (Universidad de Los Andes, 2013)

Por otra parte, en la Figura 12 se observan dos franjas de UPZ, cercanas a la Calle 13 y la Calle 80, en donde se genera la mayoría de los viajes. Esto demuestra que estos dos corredores son fundamentales en la movilización del flujo vehicular de carga generado en Bogotá.

Dichas UPZ son:

Franja Calle 13:

- UPZ 102-La Sabana, Localidad Los Mártires
- UPZ 108-Zona Industrial, Localidad Puente Aranda
- UPZ 111-Puente Aranda, Localidad Puente Aranda
- UPZ 112-Granjas de Techo, Localidad Fontibón
- UPZ 75-Fontibón, Localidad Fontibón
- UPZ 76-Fontibón San Pablo, Localidad Fontibón
- UPZ 77-Zona Franca, Localidad Fontibón
- UPZ 46- Castilla, Localidad Kennedy
- UPZ 113-Bavaria, Localidad Kennedy

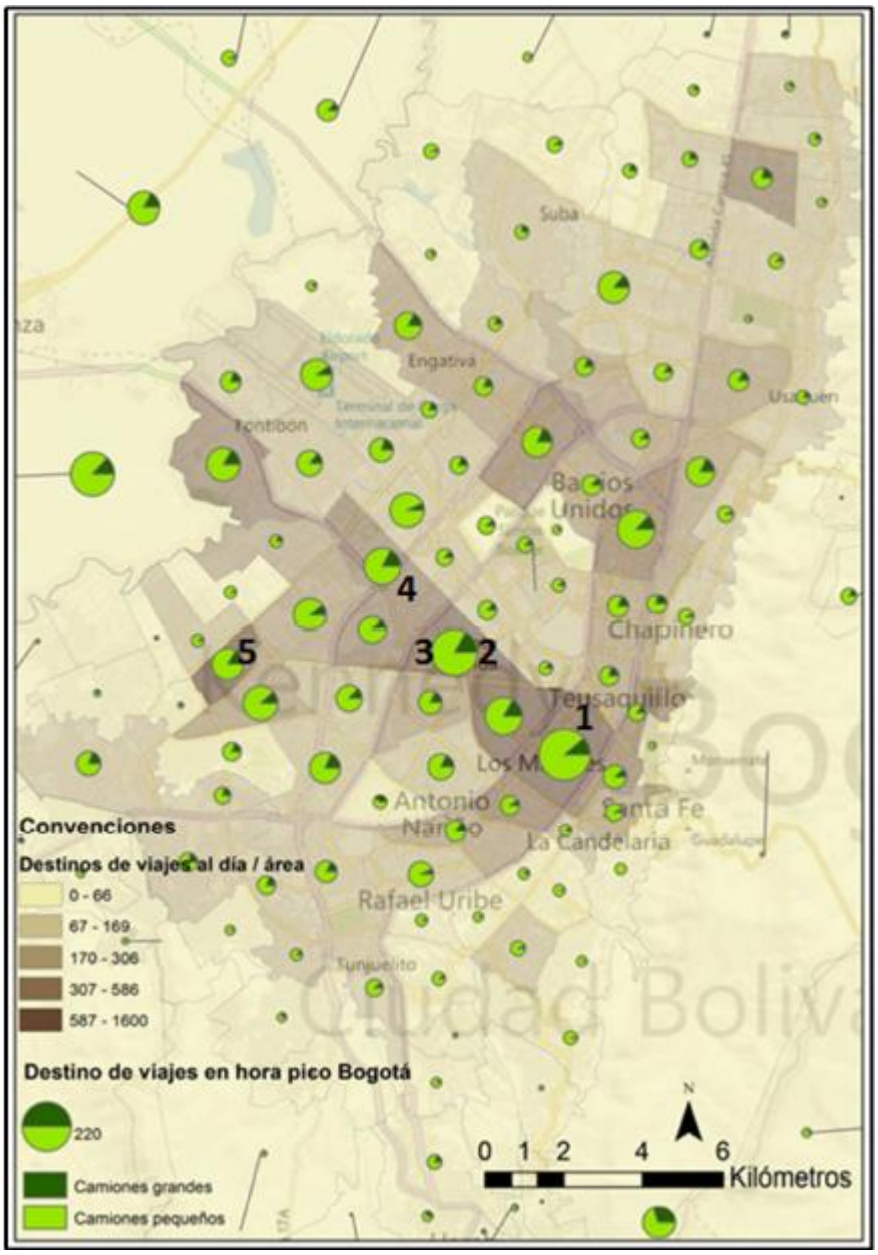
Franja Calle 80:

- UPZ 98-Los Alcázares, Localidad Barrios Unidos
- UPZ 22-Doce de Octubre, Localidad Barrios Unidos
- UPZ 26-Las Ferias, Localidad Engativá
- UPZ 30- Boyacá Real, Localidad Engativá
- UPZ 29- Minuto de Dios, Localidad Engativá
- UPZ 72- Bolivia, Localidad Engativá
- UPZ 73- Garcés Navas, Localidad Engativá

En cuanto los viajes de carga atraídos mostrados en la Figura 13, se presenta que la UPZ de La Sabana también es la que más viajes atrae en hora pico con una magnitud de 317, seguida de Puente Aranda con 163, Bavaria con 140, Granjas de Techo con 137 y Corabastos con 129.

La Figura 13 muestra las mismas franjas mostradas en la Figura 12 demostrando nuevamente la importancia en la logística urbana que tienen los corredores de la calle 80 y de la calle 13.

Figura 13. Viajes de Transporte de Carga Atraídos por UPZ



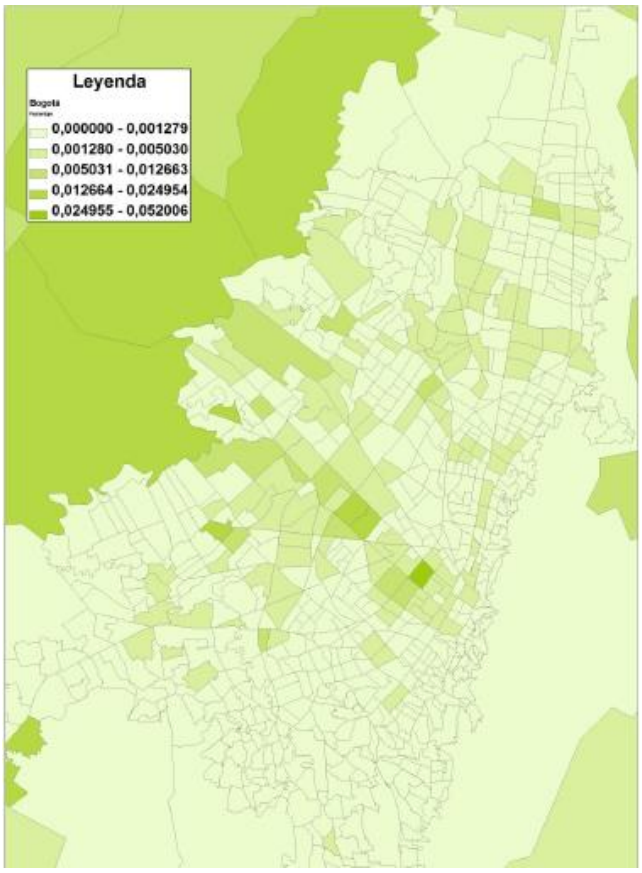
Fuente: (Universidad de Los Andes, 2013)

Ahora bien, realizando una relación de los viajes que se generan y atraen en la UPZ con los viajes totales generados y atraídos de la ciudad, se logra el indicador que el estudio realizado por La (Universidad de Los Andes, 2013) denomina Índice de Actividad Logística. Este indicador es el total de vehículos cargados o descargados que inician o terminan en una zona i dividido por el total de viajes de carga de la ciudad. Se muestra

entonces una proporción de los viajes en cada zona con respecto a los viajes de la ciudad.

Realizando la operación mencionada se obtiene nuevamente que la UPZ de La Sabana resalte con respecto a las demás; seguida de las UPZ Puente Aranda, Corabastos, Zona Industrial, Zona Franca, Granjas de Techo, Las Ferias, Los Alcázares, Niza, y Bavaria.

Figura 14. Índice de Actividad Logística



Fuente: (Secretaría Distrital de Movilidad, 2010)

La Figura 14 muestra que el corredor de la Calle 13 cuenta con índices de actividad logística importantes, situándolo por encima del corredor de la Calle 80. Esto se debe a que el corredor de la 13 presenta usos del suelo que promueven la actividad logística tales como uso industrial, de almacenamiento de carga y uso comercial.

2.3 Generación y Atracción de Volumen de Carga en Bogotá

En el anterior subcapítulo se identificaron las zonas que atraen y generan mayor cantidad de viajes de vehículos de transporte de carga. No obstante, es importante considerar que no necesariamente estas zonas identificadas sean las que mayor volumen de carga atraen o generan debido a que la capacidad de transporte de carga puede ser mayor en ciertas zonas por diversas razones como restricciones vehiculares, eficiencias operacionales de sectores comerciales o industriales, dinámica del mercado, etc. Esto conlleva a que se presenten zonas que cuenten con mayor número de viajes pero con un menor volumen transportado y viceversa.

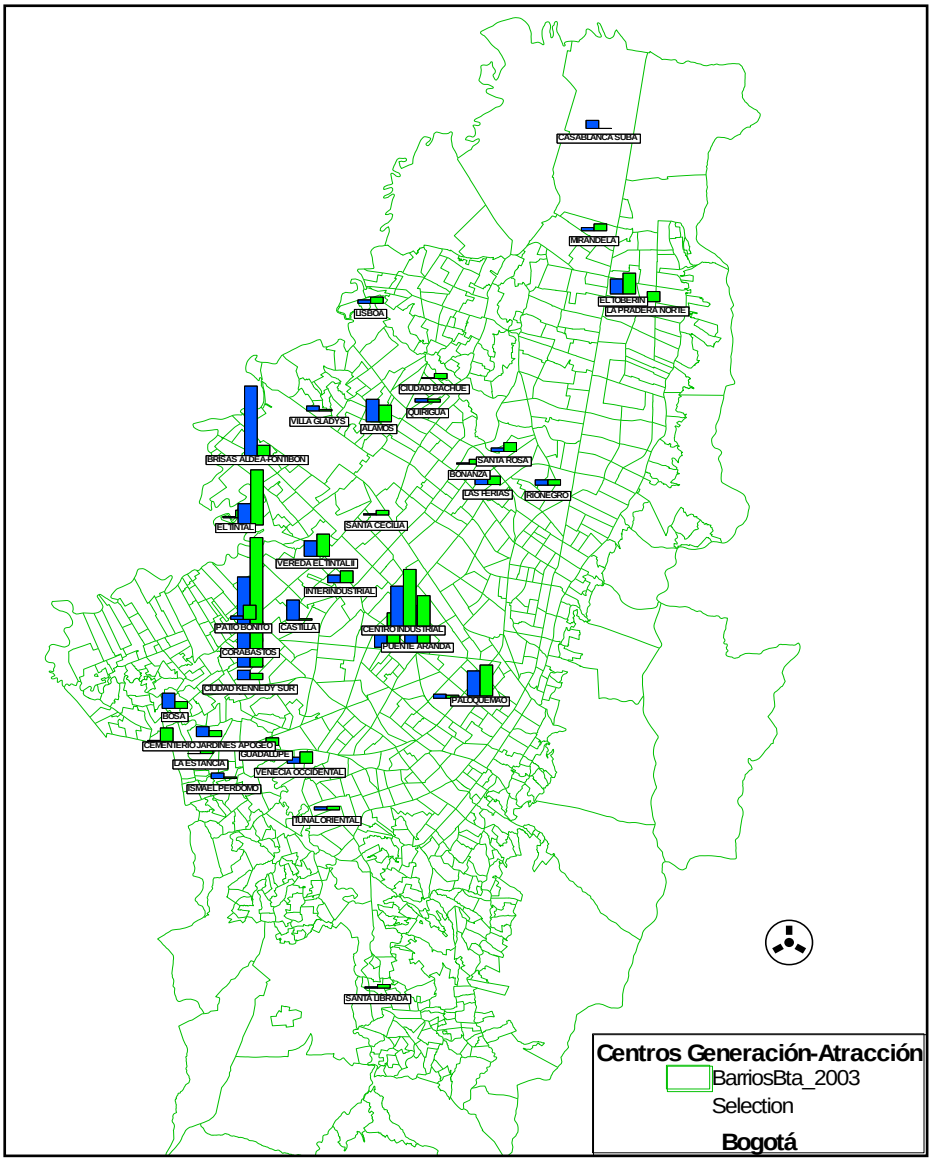
Esto se debe a que en transporte de carga existe una diferencia entre la Generación de Viajes de Carga-GVC y la Generación de Carga-GC, es decir entre la generación de tránsito (viajes de camiones) y la generación de demanda (toneladas de carga). Esta diferencia no es tan significativa en el caso de transporte de pasajeros, especialmente del modo privado, ya que existe una correspondencia entre los viajes generados por pasajeros y los viajes de los vehículos, por la ocupación baja de este modo que se encuentra en una magnitud cercana a 1 y 1,2 pasajeros por vehículo. En el caso del transporte de carga los tamaños de los envíos pueden variar drásticamente por la dinámica del mercado, por lo cual la correlación entre demanda y viajes de camiones no es tan fuerte (Holguin-Veras, Jaller, Destro, Ban, Lawson, & Levinson, 2011).

Como se observa en la Figura 15 el orden de las zonas generadoras y atractoras cambia si se consideran las toneladas/día movilizadas. Así, las principales zonas generadoras de carga son Corabastos con más de 13.000 tonelada generadas diariamente, seguidas de Brasas Aldea-Fontibon, Centro Industrial, Puente Aranda y Paloquemao. Las principales zonas, y las principales zonas atractoras son Corabastos Centro Industrial, Zona Franca, Puente Aranda, y Paloquemao (ver **Anexo I**).

Esto demuestra la correlación baja que existe entre la generación de viajes y la de toneladas de carga, lo cual es importante tenerla en cuenta en el momento que se analice el comportamiento de la logística urbana. Es decir, que en el transporte de carga

se debe tener claro el objetivo y el alcance del estudio, así, si se requiere estudiar el impacto de los vehículos de carga en la congestión urbana, el análisis se debe centrar sobre los viajes de los vehículos, y si se requiere analizar la eficiencia de las cadenas logísticas es necesario tener en cuenta tanto los viajes como las toneladas movilizadas.

Figura 15.Generación y Atracción de carga - Volúmenes mayores a 500 Toneladas/día



(Secretaría Distrital de Movilidad, 2008)

En síntesis se encuentra que el mayor movimiento de volúmenes de carga se ubica en zonas estratégicas en la Calle 13 y las zonas cercanas al aeropuerto (Secretaría Distrital de Movilidad, 2008)

2.4 Tipos de Carga Movilizados en Bogotá

En Bogotá según el Estudio de Centro de Actividades Logísticas de Carga de Bogotá realizado por la (Secretaría Distrital de Movilidad, 2008), se movilizaban diariamente más de 240.000 toneladas diarias de carga, de las cuales el mayor porcentaje del volumen movilizado fueron los productos alimenticios con más del 13%. Sin embargo, si se agrupan los productos: piedra, arena, grava, cementos, cales, yeso, y productos metálicos, los cuales se podrían denominar como materiales de construcción, estos representarían aproximadamente el 26%. Al igual, se observa que los demás productos cuentan con magnitudes similares entre sí, y que los productos Gaseosas, Cervezas y Fermentados (Bebidas) representaban el 5,8% de participación de la carga movilizada en Bogotá.

Tabla 4. Toneladas Diarias Transportadas en Bogotá por Tipo de Producto en el 2008

Producto	Entrada	Salida	Volumen Ton/día	Participación
Productos Alimenticios	20.271,58	12.825,74	33.097,32	13,76%
Productos Agrícolas	15.681,75	10.471,99	26.153,74	10,87%
Otros	11.195,81	13.883,24	25.079,05	10,42%
Piedra, Arena y grava	13.617,78	11.426,12	25.043,90	10,41%
Cementos, cales y yesos	11.541,98	7.373,68	18.915,66	7,86%
Productos Metálicos	9.175,53	9.224,79	18.400,31	7,65%
Gaseosas, Cervezas y fermentados	6.769,69	7.179,80	13.949,49	5,80%
Petróleo y Derivados	6.122,00	5.624,55	11.746,56	4,88%
Carbón	7.061,21	3.838,17	10.899,37	4,53%
Paquetes y Envíos	3.145,06	5.873,97	9.019,02	3,75%
Aceites Combustibles	4.260,03	4.611,12	8.871,15	3,69%
Maquinaria y Equipos	4.316,12	4.200,44	8.516,57	3,54%

Productos Químicos	4.205,22	4.293,45	8.498,67	3,53%
Papel y Cartón	4.108,61	3.469,22	7.577,84	3,15%
Manufacturas Diversas	2.666,18	3.534,29	6.200,48	2,58%
Abonos fertilizantes	2.571,20	2.833,90	5.405,10	2,25%
Ganado	2.274,33	943,20	3.217,53	1,34%
Total	**128.984,08**	**111.607,67**	**240.591,75**	

(Secretaría Distrital de Movilidad, 2008)

Esta distribución de carga claramente evidencia tanto el carácter de hábitos de consumo de la capital Colombiana correlacionados con el alto poder adquisitivo, como la gran preponderancia que tiene el sector de servicios en su economía, demostrado por el bajo porcentaje de toneladas de productos manufactureros movilizados en Bogotá.

2.5 Regulación tránsito de vehículos de carga en la ciudad de Bogotá

El Decreto 520 de 2013 "*Por el cual se establecen restricciones y condiciones para el tránsito de los vehículos de transporte de carga en el área urbana del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones*" establece tres zonas con diferentes tipos de restricciones:

Zona 1: Coincide con aquellas zonas en la cuales existe mayor movilidad de toneladas de carga urbana y comprende las zonas cercanas a la Calle 13 y al Aeropuerto El Dorado. En esta zona se permite la circulación de cualquier vehículo en las 24 horas del día, dependiendo de las secciones viales y la señalización presentada en esta zona.

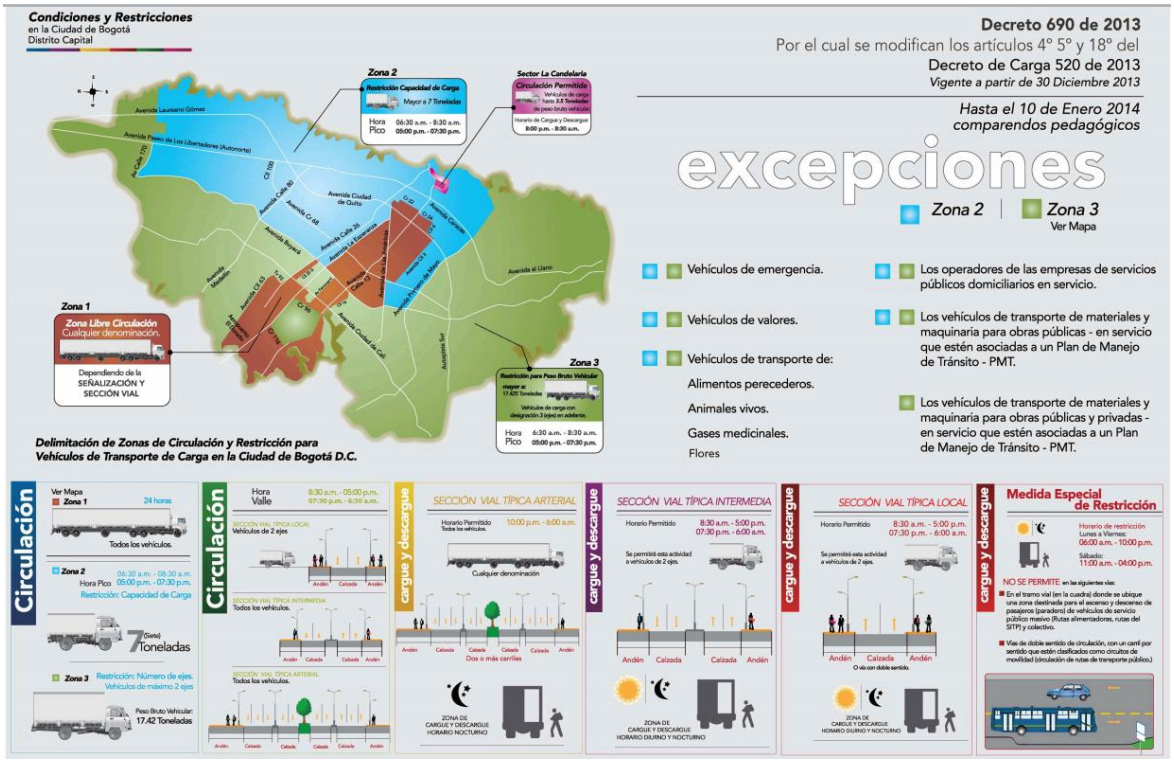
Zona 2: Esta zona está limitada por la Avenida Primera de Mayo en el Sur, La Avenida Boyacá en el Occidente, la Avenida Calle 170 en el Norte y el límite oriental de la Ciudad, excluyendo las aquellas franjas de la Zona 1.En esta zona se aplica una restricción de lunes a viernes en las horas pico 6:00 am-8:00 a.m y 5:00 p.m -7:30 p.m para aquellos vehículos mayores a 7 toneladas.

Zona 3: Incluye el área perimetral que se encuentra entre el límite urbano de la ciudad y la Avenida Primera de Mayo en el Sur, la Avenida Boyacá en el Occidente, y la Avenida Calle 170 en el Norte, exceptuando las franjas perimetrales encontradas en la Zona 1. La

restricción de esta zona se aplica a aquellos vehículos de más de 2 ejes de lunes a viernes entre las 6:00 a.m. a 8:30 a.m. y de las 5:00 p.m. a 7:30 p.m.

En el sector de la Candelaria sólo se permite la circulación de vehículos de carga de hasta 3,5 toneladas.

Figura 16.Condiciones y Restricciones Transporte de Carga en Bogotá



Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad, 2013

El cargue y descargue en la vía depende de las características de la misma. Sólo se permite en Secciones Viales Arteriales el cargue y descargue en horario nocturno; en secciones viales intermedias se permite en horario diurno no pico y nocturno, el cargue y descargue de vehículos de 2 ejes; y en sección vial local se permite en horario diurno no pico y nocturno, el cargue y descargue de vehículos de 2 ejes.

3. Análisis de Modelos de Transporte de Carga Urbano

El pobre entendimiento en el funcionamiento del sistema logístico en la ciudad impide la creación de modelos adecuados y la recolección de información útil para entender, analizar y proyectar los movimientos de carga (Holguin-Veras, Jaller, Destro, Ban, Lawson, & Levinson, 2011).

Según (Gouvea & De Melo, 2004) en la investigación de modelos de transporte de carga urbano se suele encontrar que diversos autores expresan que existen pocos estudios que tengan como objeto modelar la demanda de transporte de carga en la estructura urbana. De estos estudios se encuentra que la mayoría de los modelos propuestos se basan en los modelos de demanda de pasajeros de transporte, lo cual hace pensar que existe muy poco esfuerzo por encontrar un modelo adaptado al transporte de carga urbano.

Se debe tener en cuenta que existen varias diferencias entre el transporte de pasajeros y el transporte de carga. Los viajes de pasajeros son producidos principalmente en los hogares y son determinados por características socioeconómicas. Al contrario, en el caso del transporte de carga a nivel urbano los viajes son producidos en fábricas, bodegas, puntos de transbordo y atraídos por tiendas, oficinas, grandes superficies, áreas comerciales, fabricas que requieren de otros productos, entre otros (NCFRP;NCHRP, 2012). "*Las necesidades y deseos de consumo de una comunidad urbana influencian directamente la cantidad y tipo de mercancía demandada*" (Gouvea & De Melo, 2004).

Otra consideración que tiene una mayor relevancia en el transporte de carga es la diferenciación entre *generación de demanda* y *generación de demanda de tráfico*. Como se mencionó en el capítulo anterior, en el transporte de pasajeros, especialmente de tipo

privado, hay una correspondencia muy ligada entre el número de viajes producidos por pasajeros y el número de viajes por vehículo. En el caso del transporte de carga la correspondencia entre viajes producidos por carga y número de viajes por vehículo es totalmente diferente, debido a que muchas empresas tratando de aprovechar las economías de escala para optimizar su cadena logística transportan la mayor cantidad de mercancías en vehículos de gran tamaño, o se encuentra por ejemplo que el número de viajes por vehículo originados en las pequeñas empresa suele ser mayor al de grandes empresas (NCFRP;NCHRP, 2012).

Lo anterior se explica con el modelo de Cantidad de Orden Económico, el cual considera el tamaño del envío y la frecuencia del envío que minimizan los costos logísticos (Holguín-Veras, Jaller, Destro, & Levinson, 2011):Ecuación 1

Ecuación 1 $$Q = \sqrt{\frac{2(Costo\ de\ instalación)(Demanda\ por\ unidad\ de\ tiempo)}{Costo\ de\ inventario}}$$

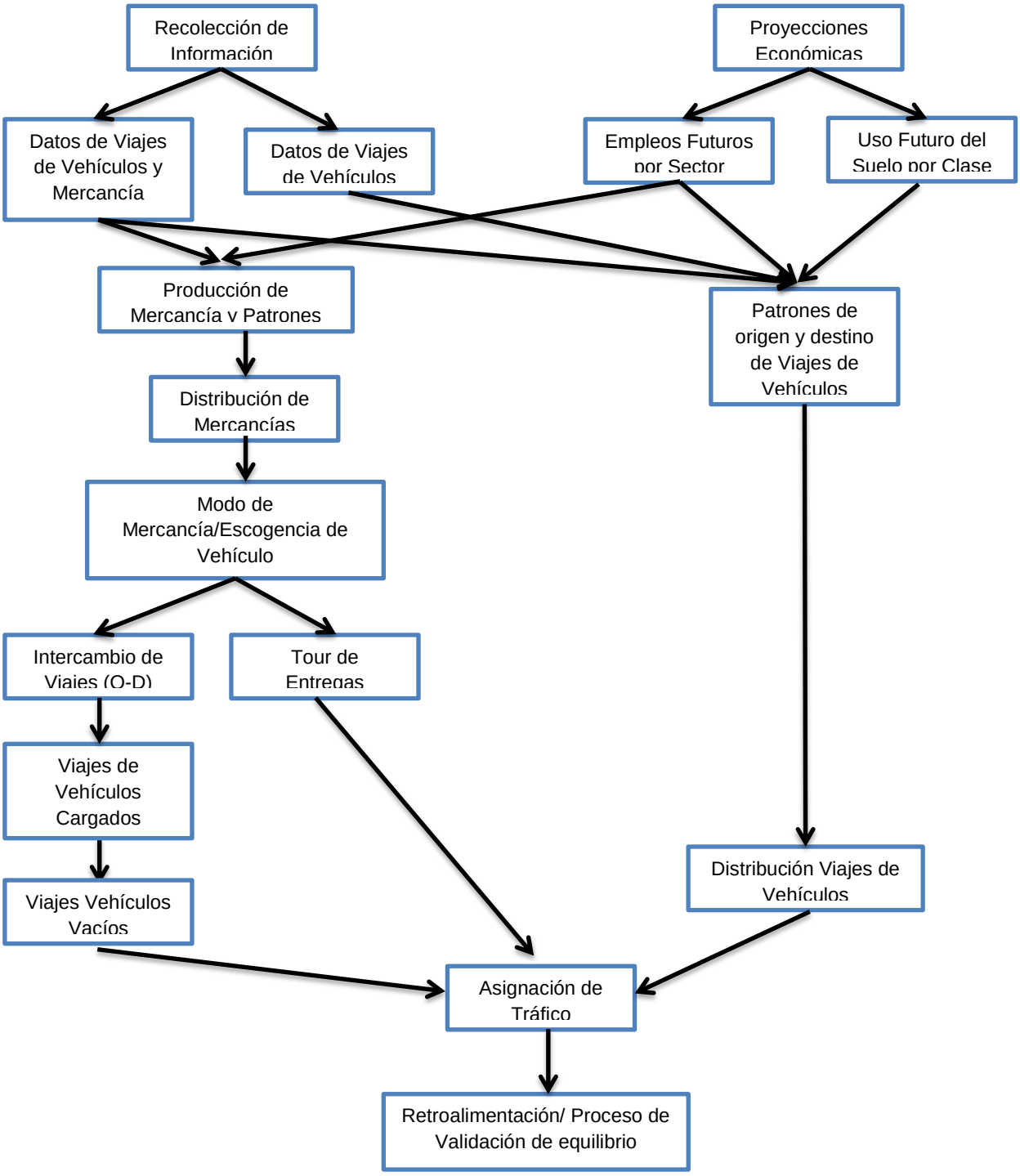
Ecuación 2 $$T = \sqrt{\frac{2(Costo\ de\ instalación)}{(Costo\ de\ inventario)(Demanda\ por\ unidad\ de\ tiempo)}}$$

Ecuación 3 $$f = \frac{1}{T}$$

Donde Q es el tamaño de envío óptimo, T es el tiempo óptimo entre envíos, y f es la frecuencia óptima.

Se puede observar que la “Demanda por Unidad de Tiempo” es la mencionada Demanda Generada y que la Demanda de Tráfico Generado se deriva de Q (tamaño del envío), ya que con esta se define el número de vehículos requeridos. En este sentido, se puede concluir que si la Demanda por Unidad de Tiempo (Demanda Generada) se duplica, o se cuadruplica, etc, el tamaño del envío Q (Demanda de Tráfico Generada) no aumentará en la misma proporción.

Figura 17. Esquema Modelo de Transporte de Carga



Fuente: Elaboración Propia basada en (NCFRP;NCHRP, 2012)

El enfoque de planeación y la información disponible definen la ruta a seguir en el proceso de modelación de transporte de carga urbano. La Figura 17 esquematiza dicho

proceso, el cual puede ser discutible si se tiene en cuenta que aún no existe un proceso y un modelo de transporte de carga estándar ampliamente aceptable.

Analizando la Figura 17 se puede inferir que esquemáticamente la ruta de planeación de transporte de carga es similar con la de pasajeros. Se observa que ambas en un inicio definen su demanda con base en proyecciones económicas y conteos de vehículos de transporte, y que los procesos subsiguientes comprenden la definición de viajes producidos y atraídos, la distribución de estos viajes, la repartición modal o escogencia del vehículo y finalmente una asignación. A pesar de esta similitud se pueden encontrar algunas diferencias como lo son:

- La posibilidad de hallar la distribución de viajes de vehículos sin realizar la escogencia modal, como se observa en la margen derecha de la Figura 17.
- La consideración del *tour* de entregas para determinar la asignación.
- El cálculo de los viajes de vehículos vacíos.

También se pueden encontrar diferencias dentro de los modelos que se utilizan en cada paso, a pesar de esto es evidente que la modelación de transporte de pasajeros ha tenido gran influencia en la modelación de transporte de carga, por lo cual se puede confundir que el proceso de modelación es el mismo.

3.1 Recolección de Información

Los estudios que se encuentran de logística urbana se concentran principalmente en las ciudades con actividades económicas muy altas, ya que las ciudades que presentan bajos índices de desarrollo económico cuentan con menores dinámicas en el transporte de carga y por tanto la entrega de carga a nivel urbano no requiere estudios y estrategias complejas. Para el caso de las ciudades que cuentan con un alto flujo de carga a nivel urbano existen diversos métodos para recolectar información de carga. Esta información puede ser recolectada de diferentes formas, entre otras:

- Conteo de tráfico mediante bucles magnéticos (*magnetic loops*): la mayoría de los estudios hacen uso de este método, porque permite el conteo de vehículos a un bajo costo. Los vehículos pesados de carga pueden ser distinguidos de vehículos livianos. Este método es útil para realizar monitoreo, estimaciones, y calibrar la matriz origen destino.
- Estudios en la vía (estudios de cordón): se realiza solicitando estacionar los vehículos a un lado de la vía para que los conductores sean entrevistados acerca del origen, destino final y propósito del viaje. El manejo de este estudio no es fácil, dado que estas paradas pueden ocasionar congestiones o problemas de seguridad en la vía. Así mismo, existe dificultad en realizar muchas preguntas a los conductores de los camiones, así que es imposible relacionar exactamente la actividad industrial o la clase de carga llevada, por lo cual la información no es suficiente para un estudio completo. Al igual, el tráfico interno dentro de la zona no puede ser capturado. Sin embargo, este estudio puede ser útil para calcular el número de diferentes tipos de vehículos usando tan sólo una sección de la vía. Este método permite calibrar los resultados de estudios específicos y modelos.
- Entrevistas con compañías administradoras de transporte de carga.
- Entrevistas con establecimientos (proveedores/remitente).
- En plataformas o entrevistas en la vía con conductores
- Cuestionarios enviados a compañías de transporte de carga o a conductores, proveedores o remitentes
- Entrevista con los principales gremios económicos y la cámara de comercio.
- Acompañamiento de viajes
- Estudio de Zonas de Carga y Descarga y estacionamiento para vehículos de transporte de bienes y servicios.
- Recolección de datos usando nuevas tecnologías, como GPS.

Ninguna de las metodologías de toma de información abarca las especificaciones globales del transporte de carga urbano, por lo tanto existe la posibilidad de que la modelación que se realice con base a los datos recolectados con estas metodologías no describan correctamente el comportamiento del transporte de mercancías y por lo tanto se tomen decisiones incorrectas para la operación de esta cadena logística.

3.2 Análisis de Modelos de Demanda para Carga Urbana

Básicamente los modelos de transporte de carga estudian el plan de transporte de una determinada mercancía o producto que se moviliza desde varias fuentes hasta los respectivos destinos teniendo en cuenta las características y necesidades de las diferentes zonas bajo un costo de movilización. Gracias a esto es posible predecir impactos relacionados con cambios en los viajes y flujos, en los tiempos de viaje, en los costos de operación, así como realizar adecuaciones a la red y al proceso logístico, etc.

Como se mencionó en el inicio de este capítulo, muchos conceptos de modelación aplicados en el transporte de carga originalmente han sido desarrollados en el transporte de pasajeros, esto se debe a que tradicionalmente los pasajeros han tenido una alta prioridad en las investigaciones de transporte reduciendo la cantidad de investigaciones en el estudio de transporte de carga.

Expertos en la planeación de transporte de carga están de acuerdo en que la estructura del modelo de cuatro pasos del transporte de pasajeros puede ser aplicada al transporte de carga, sin embargo, en los modelos de cada uno de estos pasos se encuentran diferencias considerables (De Jong, Gunn, & Walker, 2004).Se han realizado acercamientos en modelos que contemplan *toures* con múltiples paradas o impedancias de programaciones comerciales pero aún no cuentan con la suficiente validación (Transport Research Board, 2006).

El transporte de pasajeros y el de carga cuentan con diferencias entre las actividades que les competen. Por ejemplo, se encuentra que para el caso de la carga es completamente necesario que ésta sea movilizada por medios mecánicos o manuales debido a su condición inerte, al igual, existen diferencias entre la diversidad de decisiones de los actores que influyen en la cadena de carga (expendedor, transportistas, intermediador, conductor, operador, Gobierno), así como los costos de oportunidad, las características de los objetos a ser transportados (Volumen, Peso, Alimentos Perecederos, etc), y la limitada información disponible (Gouvea & De Melo, 2004).

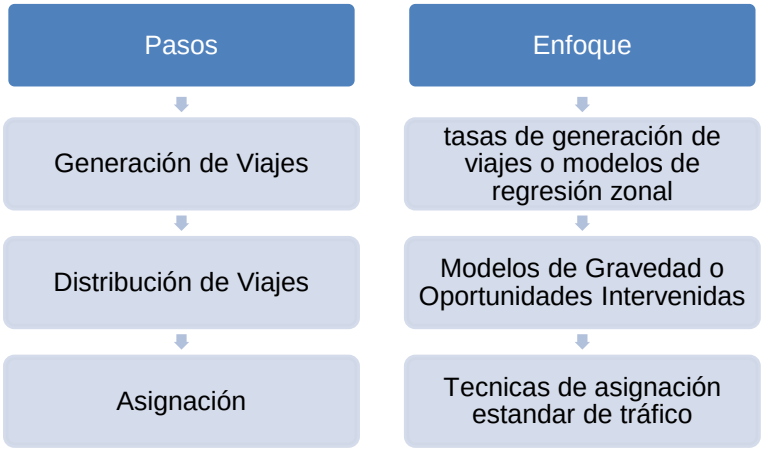
Algunos autores plantean que "*el error en el que se induce por aplicar el modelo de transporte de pasajeros al de carga puede ser poco importante para ciudades pequeñas donde el número de viajes de carga es relativamente pequeño, sin embargo éste no puede ser aplicado en grandes áreas metropolitanas como la ciudad de Nueva York donde los viajes de carga contribuyen en mayor medida a la congestión, y donde existen políticas específicas para el transporte de carga*'' (Jonnavithula S. , 2004)

La dificultad en la modelación de transporte de carga empieza en la consideración de las variables independientes que explican la generación de carga o la generación de viajes de carga, en las cuales típicamente pueden ser empleo, población, uso del suelo, además de otros factores como los son "*la ubicación de los mercados intermediarios y finales para los productos, la variedad en la producción de bienes, las características y la naturaleza de la materia prima y los productos finales, el tamaño de la empresa y su política de distribución, las variaciones zonales en la demanda y los factores de costo*" (Gouvea & De Melo, 2004).

Existen diversos modelos de carga, de los cuales teniendo en cuenta las dimensiones a estudiar (Volumen, Toneladas, Número de Vehículos, Valores, etc) pueden ser modelos basados en viajes de vehículos o basados en demanda de carga (Jonnavithula S. , 2004):

En el caso del modelo basado en viajes de vehículos este sólo cuenta con tres pasos (ver Figura 18), ya que al tomar y analizar únicamente los viajes de vehículos de carga en el momento de realizar los paso de generación y distribución de viajes la repartición modal se encuentra implícita en estos dos pasos (Holguín-Veras J. , y otros, 2001).

Figura 18. Componentes del Modelo Basado en Viajes de Vehículos

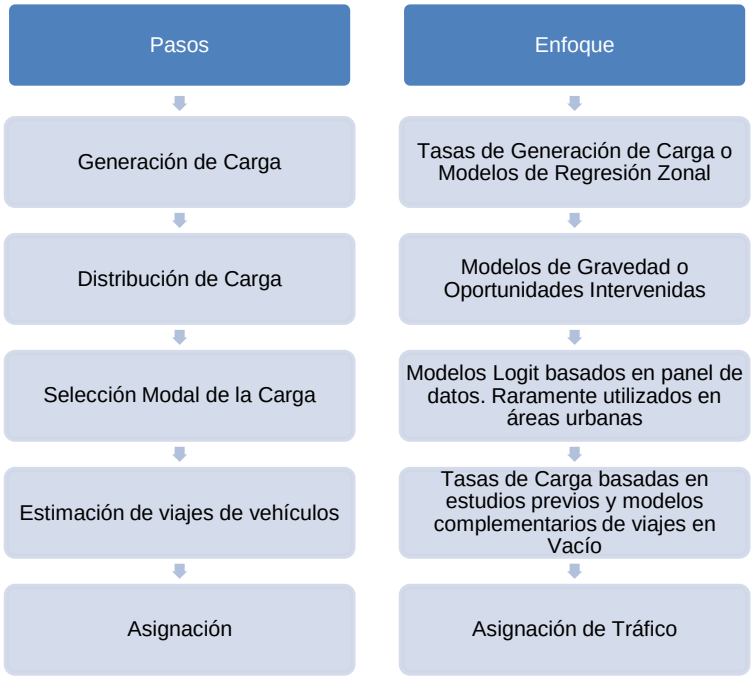


Fuente: Elaboración Propia basado en (Holguín-Veras J. , y otros, 2001)

El modelo basado en demanda de carga cuenta con cinco pasos (ver **Figura 19**), cuyo paso adicional es la estimación de viajes de vehículos, en el cual se deben considerar las tasas de carga de cada vehículo y contemplar los viajes de vehículos vacíos. Sin embargo, en este tipo de modelo el número de pasos puede reducirse a cuatro al tener en cuenta que en la mayoría de ciudades el transporte de carga se realiza en camiones, implicando que el paso de repartición modal raramente se realice a nivel urbano (Holguín-Veras J. , y otros, 2001).

Al analizar los tipos de modelos de transporte de carga pareciera que éstos no tienen diferencias con el modelo de cuatro pasos de pasajeros, a pesar de esto, se puede encontrar que al interior de cada uno de los pasos las variables y consideraciones a realizar varían (De Jong, Gunn, & Walker, 2004). En este sentido y a pesar de que algunos autores presentan sus respectivos modelos de carga como modelos innovadores, se puede concluir que estos son simplemente variaciones del modelo de cuatro pasos.

Figura 19.Componentes del Modelo de Basado en Demanda de Carga



Fuente: Elaboración Propia basada en (Holguín-Veras J. , y otros, 2001)

Teniendo en cuenta lo anterior para proyectar la demanda de carga a nivel urbano es necesario analizar la generación, la distribución y la estimación de viajes en vehículos, este último paso no se considera en el caso de que el modelo esté basado en viajes de vehículos.

A continuación se presentan los diversos modelos que existen para Producción, Atracción, y Distribución de Carga Urbana, teniendo en cuenta que el alcance de este trabajo investigativo contempla únicamente el análisis de la Demanda mas no de la Oferta.

3.2.1 Producción y Atracción

En este paso las cantidades de bienes a ser transportados de diversos orígenes y las cantidades a ser transportadas a diversos destinos son determinadas. Las dimensiones

pueden ser en toneladas, metros cúbicos, valor, viajes de vehículos de carga, etc. Existen cuatro tipos de modelos en esta etapa (De Jong, Gunn, & Walker, 2004):

- Modelos de Tendencia y Series de Tiempo
- Modelos de Sistemas Dinámicos
- Modelos de Tasas de Viajes Zonales
- Modelos de Insumo-Producto

i. Modelos de tendencia y series de tiempo:

En este tipo de modelos las tendencias históricas son proyectadas o la información de diferentes series de tiempo se usa para determinar factores de crecimiento o para realizar regresiones.

"*La información de series de tiempo ha sido utilizada para desarrollar modelos de varios grados de sofisticación, que van desde modelos con un simple factor de crecimiento hasta modelos complejos como el de promedio de variables auto regresivas. Este último modelo usa únicamente información de los flujos de camiones y es utilizado principalmente para estimaciones de corto plazo. Este modelo también se ha desarrollado con otras variables como el Producto Interno Bruto-PIB*" (De Jong, Gunn, & Walker, 2004).

Quick Response Freight Manual

El Quick Response Freight Manual es una guía que se desarrolló a través del Programa de Mejoramiento de Modelos de Viajes (Travel Model Improvement Program) del Departamento de Transportes de los Estados Unidos para proyectar la demanda de transporte de carga principalmente teniendo en cuenta variables económicas (Gouvea & De Melo, 2004).

En primer lugar el Manual propone una metodología sencilla para proyectar la demanda de transporte de carga a través de factores de crecimiento, los cuales también son

utilizados en la proyección de transporte de pasajeros. Los factores de crecimiento propuestos están basados en tendencias históricas de tránsito y proyecciones económicas. En el caso de factores de crecimientos basados en tendencias históricas simplemente se necesitan dos registros históricos para determinar el Factor Anual de Crecimiento (Cambridge Systematics INC; Comsis Corporation; University of Wisconsin-Milwaukee, 1996):

Ecuación 4 $$FAC = \left(\frac{T2}{T1}\right)^{1/(a2-a1)}$$

Donde, FAC es el Factor Anual de Crecimiento, T2 es la demanda de carga en el año a2 y T1 es la demanda de carga en el año a1

Los Factores de Crecimiento basados en proyecciones económicas tienen como principio que los cambios porcentuales económicos (costo del producto, ingresos, empleos, producción de bienes, etc) van a tener un cambio porcentual similar en la demanda de transporte de carga. En este sentido el Factor Anual se calcula de la siguiente forma (Cambridge Systematics INC; Comsis Corporation; University of Wisconsin-Milwaukee, 1996):

Ecuación 5 $$FAC = \left(\frac{I2}{I1}\right)^{1/(a2-a1)}$$

Donde, FAC es el Factor Anual de Crecimiento, I2 es el valor del indicador económico en el año a2 e I1 es el valor del indicador económico en el año a1.

Como se indicó anteriormente los factores de crecimiento son herramientas que también son utilizadas para la proyección de transporte de pasajeros. Sin embargo, se debe considerar que las variables utilizadas, para el caso de factores de crecimientos basado en proyecciones económicas, difieren en algunos casos ya que el transporte de pasajeros depende de variables económicas diferentes que las del transporte de carga, aunque, en algunos casos existen variables que se pueden utilizar tanto en transporte de carga como en transporte de pasajeros como es el número de empleos.

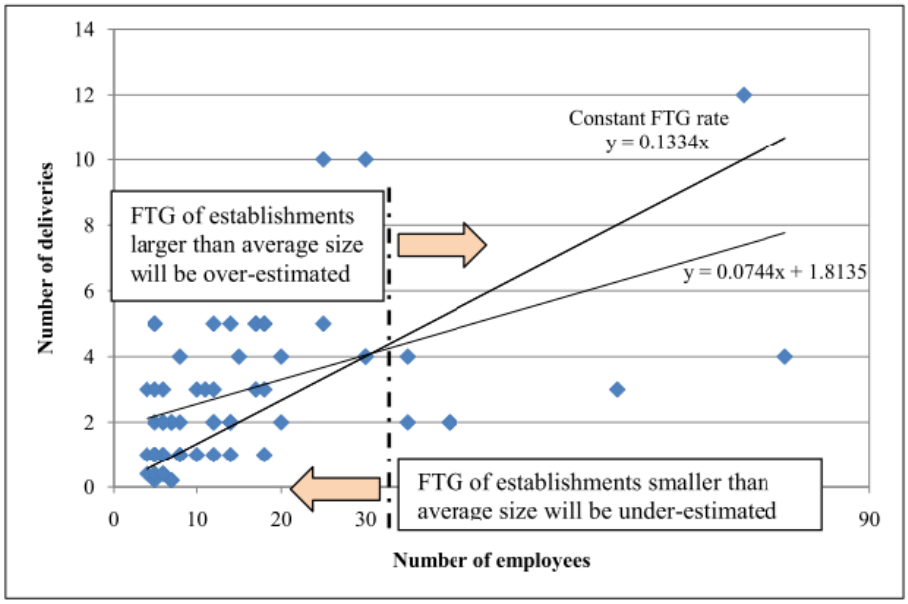
Los factores de crecimiento pueden ser herramientas sencillas y eficientes para proyectar tanto demanda de carga como de pasajeros. A pesar de esto, cuando se requiere

modelar regiones o áreas urbanas que no están consolidadas territorial y económicamente o que no cuenten con herramientas de planeación territorial y de movilidad a corto, mediano y largo plazo, los resultados proyectados no son confiables.

Los inconvenientes de Factores de Crecimiento Constantes:

Muchas veces se aplica indistintamente factores de crecimiento constantes, lo cual puede inducir a errores en la proyección de viajes. (Holguin-Veras, Jaller, Destro, Ban, Lawson, & Levinson, 2011) concluyen que los factores de crecimiento constantes cuando se basan en viajes de carga tienen correspondencia con el tamaño de la empresa, sin embargo, los factores de crecimiento que se basan en viajes de vehículos de carga no necesariamente representan la realidad, tal como se demuestra en la Figura 20, en donde se encuentra que se puede sobrestimar el número de entregas en el caso de empresas de gran tamaño y subestimar las entregas de las empresas más pequeñas.

Figura 20.Modelo de Regresión vs Modelo de tasa de viaje de vehículo de carga



Fuente: (Holguin-Veras, Jaller, Destro, Ban, Lawson, & Levinson, 2011)

Lo anterior justifica aún más que se debe tener diferentes consideraciones cuando se realiza la modelación basada en viajes de carga con la modelación basada en viajes de vehículos de carga. Esta diferencia se debe a que los viajes de carga son determinados por la economía del consumo y la producción y los viajes de vehículos de carga es el

resultado de una decisión logística de las empresas de transporte de carga o la misma empresa que manufactura el producto en el caso que este cuente dentro de su organización el transporte de mercancía (Holguin-Veras, Jaller, Destro, Ban, Lawson, & Levinson, 2011).

Modelo Hutchinson

(Hutchinson, 1974) resalta una de las conclusiones de la Conferencia de *Highway Reserch Board* realizada en 1970, la cual indica que para proyectar el movimiento de la carga, se deben considerar los siguientes aspectos: cambios de patrones en la estructura y desarrollo urbano, localización de terminales y puntos de transferencia, patrones de uso de suelo, cambios económicos y costos de la industria, prácticas laborales, innovaciones tecnológicas en movimiento de bienes, efectos de políticas gubernamentales, ayudas financieras, y regulación de los movimientos de bienes, y elementos ambientales y sociales. Estas consideraciones son en su mayoría similares a las que se deben tener en cuenta cuando se proyecta la demanda de pasajeros, sin embargo (Hutchinson, 1974) considera que las técnicas para determinar la demanda de viajes de pasajeros son sencillas y que los factores que generan los movimientos de transporte de carga son más complejos.

A pesar de lo anterior, la propuesta de Hutchinson en cuanto a proyección de transporte de carga no resulta ser muy diferente a las de transporte de pasajeros. Las ecuaciones de generaciones de viajes de camiones que realizó para todos los tipos de industria de Toronto se basaron en ecuaciones de regresiones que resultaron contar con mayor explicación de las variaciones de viajes con la variable independiente: "*número de camiones de propiedad privada*". Con esta variable independiente, para el caso de Toronto, la producción de viajes diarios con ecuación:

Ecuación 6 $\mathbf{Producción\ de\ Viajes\ Diarios} = \mathbf{11,4} + \mathbf{1,53}\ (\mathbf{Total\ camiones\ de\ propiedad\ privada})$

cuenta con un coeficiente de determinación (r^2) de 0,807 y la atracción de viajes diarios con ecuación:

Ecuación 7 $\textbf{Atracción de Viajes Diarios} = \mathbf{12,5 - 0,86}\ (\textbf{Total camiones de propiedad privada})$

cuenta con un r^2 de 0,532. Observando estos coeficientes se concluye que a pesar de que hay un buen índice de explicación de la variable independiente, camiones de propiedad privada, con la producción de viajes diarios, esto no sucede con la atracción de viajes, lo que quiere decir que para el caso de atracción de viajes es necesario explorar otras ecuaciones.

No obstante lo anterior, (Hutchinson, 1974) realizó ecuaciones de regresiones para determinados productos incluyendo otras variables independientes como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 5.Ecuaciones Producción y Atracción de Viajes por Grupo Industrial

Grupo Industrial	Ecuación	Coeficiente de Determinación (r^2)
Alimentos y Bebidas	$Log_e\ P = 2{,}62 + 0{,}33\ log_e\ (camiones\ privados)$	0,656
	$A = 2{,}24 + 0{,}10\ (trabajadores\ hombres\ manufactura) + 0{,}39\ (camiones\ privados)$	0,715
Papel	$Log_e\ P = 0{,}74 + 0{,}43\ log_e\ (Oficinas\ Totales) + 0{,}22\ log_e(Camiones\ Privados)$	0,600
	$A = 7{,}03 + 0{,}07\ (trabajadores\ hombres\ manufactura)$	0,293
Impresión, Publicación	$Log_e\ P = 1{,}05 + 0{,}28\ log_e\ (trabajadores\ hombres\ manufactura) + 0{,}51\ log_e(Camiones\ Privados)$	0,883
	$Log_e\ A = 2{,}29 + 0{,}26\ log_e\ (camiones\ privados)$	0,418
Maquinaria	$P = 1{,}11 + 0{,}32\ (Total\ Empleados\ de\ Oficina)$	0,190
	$A = 4{,}54 + 0{,}13\ (Total\ Empleados\ de\ Oficina) + 1{,}50(Camiones\ Privados)$	0,751

Nota: P= Viajes Diarios de Camiones Producidos; A=Viajes Diarios de Camiones Atraidos

Fuente: Elaboración Propia basado en (Hutchinson, 1974)

Estas ecuaciones muestran que para el caso de Toronto existe una buena explicación de los viajes atraídos y producidos en el grupo industrial “Alimentos y Bebidas” por las variables “número de camiones privados” y “trabajadores hombres manufactura”. En el caso contrario se muestran que existen variables que no explican de forma definitiva la

generación de viajes como el caso de “Total de Empleados de Oficina” para el grupo industrial “Maquinaria”.

(Hutchinson, 1974) presenta entonces variables que pueden ser consideradas en el momento de determinar la generación y atracción de viajes y se puede decir que se encuentra dentro de un modelo variante al de cuatro pasos en la cual se en un solo paso se puede definir el número de viajes de camiones que se generan sin necesidad de realizar un paso adicional para definir la repartición modal.

Modelo Ogden

Ogden fue también uno de los autores que sugirió que los modelos de carga a nivel urbano deberían ser categorizados por aquellos que son basados en mercancías y los que son basados en viajes de vehículos. Para cada uno de estos dos tipos de modelos Ogden propuso realizar regresiones. En el caso de modelos basados en las mercancías recomienda utilizar las variables de área total construida, número de empleos, población y número de domicilios por zona. Para el caso de modelos basados en viajes de vehículos, la variable recomendada es empleos generados según tipo de industria o comercio. (Gouvea & De Melo, 2004).

ii. Modelos de Sistemas Dinámicos:

Estos modelos se caracterizan por alimentarse de submodelos económicos, estadísticos o territoriales y a su vez su resultado retroalimenta dichos submodelos, repitiéndose el proceso de forma iterativa hasta llegar a un equilibro. “*Los parámetros de este modelo no son obtenidos de estimaciones estadísticas, sino de literatura existente y por medio de ensayo de valores iniciales y verificando el comportamiento de los resultados (ensayo y error). Sin embargo, los modelos de sistemas dinámicos usualmente no contienen suficiente detalle espacial para producir flujos zona a zona y conectar cargas*” (De Jong, Gunn, & Walker, 2004).

Un ejemplo de esta clase de modelos es el *Assessment of Transport Strategies*-ASTRA, el cual es un modelo creado por la Unión Europea para la evaluación de políticas en los campos de transporte y energía, e integra nueve submodelos articulados entre sí: modelo de flota de vehículos, modelo de transporte, modelo de accidentes y emisiones, modelo poblacional, modelo económico y de comercio exterior con modelos de insumo-producto, de gobierno, y de empleo e inversión (Europe Union).

iii. Modelos de tasas de viajes zonales:

Se trata de una clasificación cruzada que determina el número de viajes o de volúmenes producidos y atraídos según atributos de la zona homogénea analizada. Se encuentra por ejemplo que El "*Quick Response Freight Forecasting Manual*" contiene tasas de viajes según el tipo de vehículos y clasificado por tipo de industria y zona de atracción y producción para Estados Unidos. Es así como se pueden prever cambios de viajes según alteraciones en actividades económicas (De Jong, Gunn, & Walker, 2004).

Modelo Quick Response Freight Manual

El Quick Response Freight Manual plantea un modelo interesante basado en tasas de viajes zonales. En este sentido, teniendo en cuenta tasas de viaje de varios tipos de vehículos de carga y clasificados por industria, así como por zona de atracción y producción, se presenta un procedimiento simple para prever cambios en la demanda por carga, con base en alteraciones en el nivel de actividades económicas o de otros factores relacionados (De Jong, Gunn, & Walker, 2004).

Teniendo en cuanta lo anterior se pueden determinar, por ejemplo, el número de vehículos de carga por día según el tipo de vehículo para cada zona si se cuentan con tasas e indicadores como la mostradas en la Tabla 6 y Tabla 7. En este caso la tabla 8 muestra las tasas de generación de viajes diarios de cierto tipo de vehículo según el número de empleos de un sector económico o el número de hogares, y la Tabla 7 presenta las tasas de empleo y número de hogares de cierta zona. Contando con esta información se puede hallar el número de vehículos de 4 llantas (Four Tire Vehicles) generados por empleos en manufactura para la zona 1 (Z1) de la siguiente forma:

$0{,}938 * 6{,}241 = 5{,}85$ generados por día

Tabla 6. Tasas de Generación de Viajes

Generación	Destinos de Viajes de Vehículos Comerciales (u Origen) por Unidad por Día			
	Vehículos de Cuatro Llantas	**Camión de Una Unidad (6 Llantas)**	**Combinaciones**	**Total**
Empleo				
-Agricultura, Minería y Construcción	1,110	0,289	0,174	1,573
-Manufactura, Transporte, Comunicación, Útiles y Comercio al Por mayor	0,938	0,242	0,104	1,284
-Comercio al Por menor	0,888	0,253	0,065	1,206
-Oficina y Servicios	0,437	0,068	0,009	0,514
Hogares	0,251	0,099	0,038	0,388

Fuente: Elaboración Propia basada en (Cambridge Systematics INC; Comsis Corporation; University of Wisconsin-Milwaukee, 1996)

Tabla 7. Número de empleados y Hogares en cada Zona

Tipo de Uso de Suelo	Zona		
	Z1	**Z2**	**Z3**
No. De Hogares	3120	4364	5985
No. De Empleos			
-Agricultura, Minería y Construcción	0	0	0
-Manufactura, Transporte, Comunicación, Útiles y Comercio al Por mayor	6241	9362	20209
-Comercio al Por menor	8916	17831	7430
-Oficina y Servicios	23775	8916	5944
Total Empleos	**38932**	**36109**	**33583**

Fuente: Elaboración Propia basada en (Cambridge Systematics INC; Comsis Corporation; University of Wisconsin-Milwaukee, 1996)

iv. Modelos Insumo-Producto (Input-Output):

Estos modelos estiman los viajes de carga vinculando las actividades económicas a los flujos de carga. Se basan en tablas que contienen la cantidad en unidades monetarias que cierto sector de la económica entrega a otro sector (NCFRP, 2010)

Las tablas de insumo-producto han sido desarrolladas por muchos países, usualmente por oficinas de estadística (De Jong, Gunn, & Walker, 2004).

Tabla 8. Parte de los Requerimientos Directos de la Matriz de Entrada y Salida de 1965 de Ontaro

Sector Industria	24	25	26	27	28	29
24-Impresión, Publicaciones	0,034451	0,000144	0,000030	0,0	0,000629	0,000515
25- Hierro, Metales, Taller	0,0	0,185166	0,047004	0,358441	0,396149	0,158633
26-Otros Metales Primarios	0,000457	0,019122	0,327892	0,005927	0,056476	0,130246
27-Estructuras. Metales	0,000342	0,0	0,0	0,0	0,0	0,013028
28-Selladura de Metal	0,000034	0,000031	0,004292	0,0	0,000036	0,006945
29-Otros Metales de Fabrica	0,002897	0,003131	0,039306	0,035729	0,056490	0,077058
50-Sueldos y Salarios	0,394777	0,203510	0,238601	0,252745	0,203964	0,258327
51-Otro Valor Agregado	0,150277	0,294799	0,111362	0,247984	0,145281	0,127002

Fuente: Elaboración Propia basada en (Hutchinson, 1974)

En la Tabla 8 se observa la Matriz Input-Output realizada para la ciudad de Ontaro en 1965. De dicha matriz se puede obtener, por ejemplo, que la industria 28 necesita de 5,6 centavos de la industria 29 para producir 1 Dólar de salida.

En este sentido se puede inferir que (Hutchinson, 1974):

Ecuación 8 $$a_j^e = [a_{ef}]p_j^e$$

Donde a^e_j= Vector del valor del consumo anual por la mercancía e por la industria en la zona j

$[a_{ef}]$= la matriz de requerimientos directos de la tabla insumo-producto para el input e y el output f

p^e_j=Vector de valores anuales de producción de la mercancía e en la región j

Estos valores pueden ser transformados en unidades para obtener el valor de la demanda en volúmenes.

Una vez determinada la producción y la atracción (Hutchinson, 1974) recomienda usar el modelo gravitacional para la distribución de viajes, no obstante, se recomienda usarlo para el caso de transporte interregional, ya que para la época no había sido demostrada la conveniencia de usarlo en niveles urbanos. Al igual, el modelo input-output también puede ser utilizado para la etapa de distribución, como se explicará más adelante.

Las ventajas y Desventajas de estos modelos se describen en la Tabla 9.

Tabla 9 Resumen de modelos de atracción y producción de transporte de carga

Tipos de modelos	Ventajas	Desventajas
Series de Tiempo	Requerimiento limitado de información (pero de varios años)	Poca perspectiva acerca de accidentalidad y limitado alcance para efectos de políticas
Sistemas Dinámicos	Requerimiento limitado de información, Puede ofrecer interacción con usos del suelo. Pueden incluirse efectos externos y de política.	No se realiza evaluación estadística sobre los parámetros estudiados
Tasa de Viajes	Requerimientos limitados de información (información zonal)	Poca perspectiva acerca de accidentalidad y limitado alcance para efectos de políticas
Entrada y Salida	Enlace con la economía. Puede ofrecer interacción con el uso del suelo. Efectos de política	Es necesaria una tabla de entrada y salida. Se necesita conversión de valores a toneladas. Se necesita identificar los flujos del mercado de importación y exportación.

Fuente: *National and International Freight Transport Models: Overview and Ideas for Future Development-De Joung*, Gerard, 2004.

3.2.2 Distribución.

En este paso, los flujos en transporte de bienes entre origen y destino son determinados. Este es el paso de modelación que realmente ha tenido desarrollos específicos en transporte de carga, al contrario de la fase de generación y atracción, en el cual se usan modelos originados en la planificación de transporte de carga (Holguín-Veras J. , y otros, 2001).

A continuación se explicarán los diversos modelos de distribución que existen para transporte de carga urbano, entre los cuales se encuentran metodologías que son originadas del transporte de pasajeros. Según (Holguín-Veras J. , y otros, 2001) existen cuatro tipos de modelos de distribución de carga:

- Modelo de Factor de Crecimiento
- Modelos de Insumo-Producto (Input-Output)
- Modelos de Interacción Espacial
- Formulaciones Sintéticas de Origen-Destino

i. Modelos de Factor de Crecimiento (Fratar)

El modelo Fratar usa factores de crecimiento doblemente restringidos, y es popularmente conocido en la planificación de transporte de pasajeros. A pesar de esto es totalmente válido usarlo en el transporte urbano de carga, no obstante, se debe considerar que es recomendable utilizar esta modelo en ciudades consolidadas y cuando se cuenten con matrices base que cuente con la menor cantidad de datos nulos, dado que la convergencia de este modelo no se da si existen diversas celdas con ceros.

Este es un modelo sencillo que usa la distribución base de cierta matriz y con las proyecciones de la generación y atracción se calculan los factores de crecimiento de cada zona de origen y de cada zona de destino. Dado que el factor es doblemente restringido se deben hallar estos factores en un proceso iterativo que balancee ambos factores (Ortuzar & Willumsen, 2001).

La ecuación de este modelo es (Ortuzar & Willumsen, 2001):

Ecuación 9 $$T_{ij} = t_{ij}\, a_i b_j$$

Donde los factores de crecimiento a balancear son ai y bj

ii. Modelos Insumo Producto (Input-Output)

Este modelo es el mismo que se utiliza en la etapa de generación y atracción, el cual se basa en aspectos económicos para determinar la cantidad que cierto sector atrae o genera a otro sector.

El cálculo realizado por el modelo input-output es preciso para definir la economía de una ciudad o una región, pero éste no es apto para definir los flujo que se realizan entre zonas, es por esto que se han desarrollado los “Modelos Multiregionales de Entrada y Salida” el cual explica los vínculos entre los sectores económicos que se encuentran en una región geográfica determinada. Existen tres tipos de “Modelos Multiregionales de Entada y Salida”: El Modelo Coeficiente Columna, Modelos Coeficiente Fila, y Modelo Gravitacional (Holguín-Veras J. , y otros, 2001). En principio este tipo de modelo está enfocado para analizar la distribución entre regiones, es decir entre ciudades, áreas metropolitanas, regiones económicas y/o departamentos. A pesar de esto, este modelo puede ser usado para analizar los viajes intersectoriales de un área metropolitana o una ciudad, ya que cada región puede ser dividida en sub regiones, desde que se cuente para cada subregión con su propia tabla Input-Output.

A pesar de que este modelo es posible utilizarlo en grandes ciudades como Bogotá, se requiere una gran información estadística detallada acerca del comportamiento de los actores y elementos que participan en el transporte de carga urbano en la capital. Estos modelos han tenido éxito en países como Estados Unidos dado que cuentan con suficiente información histórica para implementar este tipo de modelos. A pesar de esto en las grandes ciudades estadounidenses no existe información suficiente para implementar este tipo de modelos, a pesar de que consideren que este tipo de modelos reflejan apropiadamente el transporte de carga, por lo cual vale la pena invertir en una recolección considerable de información para alimentar esta clase modelos.

iii. Modelos de Interacción Espacial

Estos modelos son aquellos modelos que explican la distribución de los viajes en función de interacciones con el espacio. Entre estos modelos se encuentran los modelos gravitacionales, los modelos de oportunidades intervenidas y los modelos de demanda directa.

Modelo Gravitacional:

Para el caso de la distribución de viajes el *Quick Response Freight Manual* usa el mismo modelo de gravedad estándar conocido para la modelación de pasajeros (Cambridge Systematics INC; Comsis Corporation; University of Wisconsin-Milwaukee, 1996):

Ecuación 10 $$V_{ij} = \frac{O_i D_j F_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} D_j F_{ij}}$$

Donde,

Vij= viajes producidos en zona i y atraídos en la zona j
Oi= viajes totales producidos
Dj= viajes totales atraídos
Fij=factor de fricción o impedancia

Según el (Federal Highway Administration, 2007) para transporte de carga:

Ecuación 11 $$F_{ij} = e^{-\left(\frac{1}{k}\right) * t_{ij}}$$

Donde,
k= distancia promedio entre zonas
tij= medida de impedancia entre i y j expresado en distancia o en tiempo

Es preciso tener en cuenta que el (Federal Highway Administration, 2007) encontró que aquellos viajes de transporte de carga a nivel de estados y que eran relativamente cortos en distancia la variable tiempo era una mejor variable de impedancia. Es decir que para los viajes cortos se recomienda utilizar en la Ecuación 11 el tiempo en la variable t_{ij}.

El *Quick Response Freight Manual II* establece que los factores de impedancia pueden ser calculados de la siguiente forma según el tipo de camión y la distancia (Cambridge Systematics INC; Comsis Corporation; University of Wisconsin-Milwaukee, 1996):

Función de impedancia para camiones livianos:

Ecuación 12 exp (3.75 – 0.08 * costo generalizado de camiones livianos) para menos de 26 millas (41,8 Km)

Ecuación 13 exp (2.1 – 0.005 * costo generalizado de camiones livianos) para más o igual a 26 millas (41,8Km)

Función de impedancia para camiones medianos

Ecuación 14 exp (4.75 – 0.05 * costo generalizado de camiones medianos) para menos de 27 millas (43,4 Km)

Ecuación 15 exp (4.2 – 0.003 * costo generalizado de camiones medianos) para más o igual a 27 millas (43,4 Km)

Función de impedancia para camiones Pesados:

Ecuación 16 1,0 para menos de 7,5 millas (12,07 Km)

Ecuación 17 exp (5.0 – 0.009 * costo generalizado de camiones pesados) para más o igual a 7,5 miles (12,07 Km)

Debido a que el modelo gravitacional es un proceso iterativo el ajuste de los viajes atraídos después de cada iteración es:

Ecuación 18 $$\boldsymbol{D_j^q = D_j^{q-1} * \frac{D_j}{C_j^{q-1}}}$$

Donde,

D_j^q= Factor de destino ajustado para una zona de análisis j, iteración q

D_j^{q-1}=Dj cuando q=1

C_j^{q-1}=Atraídos totales del área de análisis j, es el resultado de la iteración previa del modelo de gravedad

Dj=Atraídos totales para una zona de análisis j, desarrollado de paso de generación de viajes

j=zona de destino

n= número de zonas analizadas

q= número de iteraciones

Este modelo es ampliamente conocido en el entorno de la planificación del transporte y tiene como principio que los viajes entre dos zonas se asemejan a las fuerzas de atracción de dos cuerpos. Para el caso de este modelo en transporte de carga se recomienda que el factor de impedancia o de fricción pueda ser la distancia o el tiempo entre las zonas de análisis.

Modelo de Oportunidades Intervenidas

Aparte del modelo gravitacional el manual recomienda el modelo de oportunidades intervenidas. El Modelo de oportunidades intervenidas fue propuesto en un principio por Stouffer en 1940 y luego desarrollado por Schneider en 1959, tiene como principio que el intercambio de viajes entre zonas es igual al número de viajes que salen de un origen multiplicado por la probabilidad de que cada viaje sea encontrado aceptable en la zona de destino (Cambridge Systematics INC; Comsis Corporation; University of Wisconsin-Milwaukee, 1996). Es decir que la probabilidad de seleccionar un destino Dj depende de la probabilidad de que el viaje no haya sido aceptado por los destinos D j-1 (Holguín-Veras, List, & Meyburg, An Assessment of Methodological alternatives For a Regional Freight Model in the NYMTC Region, 2001), esto hace que el destino del viaje no necesariamente sea el lugar más cercano del origen. Las probabilidades de este modelo dependen de la actividad que se desarrolla en cada zona, es decir que el número de viajes de cada zona que se presente en origen y en el destino de determinada zona i son los factores que influencian la probabilidad de un viaje de i a j. Esto es en cierta medida similar al concepto que se maneja en el modelo de gravedad, sin embargo, este modelo se diferencia en que la probabilidad de los destinos anteriores, los cuales están ordenados de la distancia más corta a la más larga, influencia la probabilidad de aceptar un viaje j+1.

La ecuación del modelo de oportunidades de intervención es la siguiente:

Ecuación 19 $$Tij = \frac{O_i\,(e^{-LV_j} - e^{-LV_{j+1}})}{(1 - e^{-LV_n})}$$

Donde:

Tij= Número Total de viajes generados de la zona i con una probabilidad particular L

O_i=Viajes producidos zona i

L= 1/número de viajes actuales; Probabilidad de aceptar cualquier oportunidad de destino
Vj+1= Número de destinos encontrados cerca al punto de origen I
Vj= Número de oportunidades pasadas en la zona

A pesar de las ventajas que presenta este modelo, se ha visto relegado debido a que las ventajas sobre el modelo de gravedad no son superiores. Al igual, no existen herramientas digitales que utilicen este modelo, y la metodología de este modelo de jerarquizar los destinos por distancia desde el origen es más difícil de manejar en la práctica (IIT Bombay, 2006).

Modelo de Demanda Directa

Este modelo basado en modelos econométricos abarca la generación, la distribución y la selección modal en un solo paso (Holguín-Veras J. , y otros, 2001). Aunque se debe recordar que en el caso de modelos basados en viajes de vehículos no es necesario la selección modal:

Ecuación 20 $$T_{ijk} = \emptyset_k \, (P_i P_j)^{\theta_{\lambda 1}} \, (I_i I_j)^{\theta_{\lambda 2}} \prod_m (t_{ij}^m)^{\alpha_{km}^1} (c_{ij}^m)^{\alpha_{km}^2}$$

Donde: Tijk es el número de viajes entre i y j en el modo k, P es la población, I es el ingreso, t es tiempo de viaje, c el costo de transporte, y ΦθΛ son parámetros del modelo.
ΘΛ1 es la elasticidad de la demanda de acuerdo a la población
ΘΛ2 es la elasticidad de la demanda de acuerdo al ingreso

Existen diversas ecuaciones de demanda directa. En el caso de transporte de carga se pueden encontrar ecuaciones como las de Slavin, la cual tiene en cuenta el área de la zona, empleados de las grandes tiendas de alimentos en la zona, población residencial en la zona, y tiempo de viaje entre zonas. A pesar de que hay un gran potencial de usar esto modelos en la planeación de transporte de carga urbano a nivel estratégico, estos modelos han sido relegados a estudios de corredores (Holguín-Veras J. , y otros, 2001).

iv. Formulaciones Sintéticas de Origen-Destino

Las formulaciones sintéticas de Origen Destino tienen como fin obtener la matriz Origen Destino correspondiente a una información secundaria establecida como el comportamiento del tráfico (Holguín-Veras J. , y otros, 2001). Es decir que este tipo de modelos reciben como entrada datos que normalmente se encuentra en un paso posterior a la distribución. Existe una gran variedad de modelos de este tipo, los cuales hasta el momento no han sido utilizados en una justa proporción.

Los modelos más representativos de este tipo se describen a continuación:

Modelo Basado en Gravedad o Modelos de Calibración de Parámetros

En estos modelos la distribución de viajes está en función del tráfico y otros parámetros. Se usan metodologías de regresión y la metodología de asignación todo o nada usados comúnmente en el paso de asignación de tráfico (Holguín-Veras J. , y otros, 2001).

Programación Lineal

Este modelo tiene como principio la minimización de todo el costo de movilización de carga, lo cual es muy acertado si se considera que las firmas buscan satisfacer a sus clientes al menor costo posible (Ortuzar & Willumsen, 2001). Una de los métodos para resolver este problema es mediante el modelo de transporte de Hitchcock-Koopman y es expresado como la minimización de costos de transporte de un tipo de carga de un origen a un destino (Sharma J. , 1977).

El problema de programación lineal es el siguiente (Sharma J. , 1977):

Ecuación 21 $\boldsymbol{Minimizar\ Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij}}$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = a_i$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} = b_j$$

Donde,

Xij=cantidad de bienes movilizados de origen i al destino j
Cij=el costo de movilizar una unidad de una cantidad de bienes de origen i a destino j
ai =la oferta disponible de cada origen i
bj=la demanda de bienes para cada destino j
m=número total de orígenes
n=número total de destinos

Al igual, este problema se puede resolver con otros métodos de programación lineal tales como Método Dual Simple, Método de dos Fases, Método Limitado Simple, y Método de la Gran M (Sharma, Abbas, & Kumar, 2012).

Modelos de Entropía

Para entender la maximización de entropía primero deben aclararse los conceptos de macro estados y micro estados. Micro estado es la descripción de la ubicación de cada viaje en el sistema de celdas de la matriz y es expresado en términos de N-vectores x=(x1, x2, x3…xn), donde xi es el número de la celda en el cual el viaje i es ubicado. En el Macro estado se cuentan los viajes de cada celda y se expresa como z=(z1,z2,…., zk) donde zk es el número de viajes en la celda k (Snickars & Wibull, 1977). Es decir que la diferencia entre macroestado y microestado es la misma que entre análisis agregado y análisis desagregado.

El principio lógico de la entropía implica que la probabilidad de z=(z1,z1….zk) es proporcional al número de formas en el que N viajes distintos puedan ser localizados en K celdas, es decir que la probabilidad de cierto macroestado es proporcional al número de microestados que producen cada macro estado en agregación (Snickars & Wibull, 1977). Esto es

Ecuación 22 $\boldsymbol{W(z1, z2, \ldots . k) = \frac{N!}{\prod_{k=1}^{K} zk!}}$

Willumsen (1978) fue uno de los principales autores que investigó este tipo de modelos. Él demostró que maximizando la entropía la más probable matriz de viajes podía ser hallada (Paramahamsan, 1999). En este acercamiento de maximización de entropía la probabilidad que cierta distribución ocurra es proporcional al número de micro estados del sistema.

De esta forma la ecuación sería (Paramahamsan, 1999):

Ecuación 23 $\boldsymbol{Mazimizar}: \boldsymbol{Z}\left(\boldsymbol{T_{ij}}\right) = \frac{\boldsymbol{T}!}{\prod_{\boldsymbol{ij}} \boldsymbol{T_{ij}}!}$

Sujeto a:

$V_a = \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a \quad \forall a$

$T_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$

Donde:

Tk= Número de viajes disponibles en la celda k de una matriz pxp

Tn=T-$\sum_{k=1}^{k=n-1} T_k$ Número Total de viajes disponibles a ser considerados en viajes Tij considerados

T=$\sum_{ij} Tij$

K=i+(j-1)p

Si se incluye a esta maximización la restricción de costos el resultado de la formulación resulta igual al modelo de gravedad explicado anteriormente. En la el cual, la impedancia sería:

Ecuación 24 $\boldsymbol{f}\left(\boldsymbol{C_{ij}}\right) = \boldsymbol{C_{ij}^a} * \boldsymbol{e}^{\left(-\boldsymbol{b} * \boldsymbol{C_{ij}}\right)}$,

donde a y b son parámetros del modelo (Paramahamsan, 1999).

Modelos de Equilibrio

Este es un modelo que se basa en el paso de asignación de tráfico y utiliza el primer principio de Wardrop o el principio de equilibrio. El primer principio de Wardrop indica que "*El tráfico se arregla de forma que todas las rutas utilizadas tienen costos iguales*

mínimos, mientras que las rutas no utilizadas tienen costos mayores o iguales. Es decir que ningún usuario puede reducir sus tiempos de viaje cambiando de ruta" (Wardrop,1952). En este sentido para determinar la distribución de viajes se debe realizar un ejercicio inverso en la cual si *"los flujos de los arcos están en equilibrio la solución de la distribución puede encontrarse optimizando la solución del problema mediante el principio de Wardrop*" (Holguín-Veras J. , y otros, 2001).

3.2.3 Viajes en Vacío

Los viajes en vacío en todos los niveles geográficos tienen una preponderancia en el número de viajes totales que se realizan diariamente. A nivel urbano los viajes en vacío se estiman que están alrededor del 20%, lo cual es inferior al porcentaje que se puede presentar en el transporte de carga a nivel Regional, o Nacional o Internacional. Aun así, esta participación resulta tener un mayor impacto en la congestión urbana si se tiene en cuenta que en la ciudad el transporte de carga se realiza en vehículos pequeños a una alta frecuencia.

Tabla 10. Características Transporte de Carga según Nivel Geográfico

Nivel Geográfico	Vehículo predominante	Tamaño de la carga	Impactos en la Congestión	Viajes en Vacío	Número de entregas por recorrido	Tipo de carga
Urbano	Pequeños Camiones	Pequeños, Envíos Frecuentes	alta	Alrededor del 20%	5-6	Bienes orientados al consumidor
Regional	Camiones Grandes y Medianos	Carga Grande	En determinados Cuellos de Botella	Alrededor del 30-40%	2-3	Mezcla de Bienes de Manufactura y de orientados al consumidor
Nacional/Interdepartamental	Camiones Grandes y Medianos, Trenes, y Aviones	Carga Grande	En determinados Cuellos de Botella	Alrededor del 30-40%	1-2	Mezcla de Bienes de Manufactura y de orientados al consumidor
Internacional	Camiones Grandes y Medianos, Modo	Carga Grande	En determinados Cuellos de	Alrededor del 30-40%	1-2	Mezcla de Bienes de Manufactur

Nivel Geográfico	Vehículo predominante	Tamaño de la carga	Impactos en la Congestión	Viajes en Vacío	Número de entregas por recorrido	Tipo de carga
	Férreo, Modo Aéreo, y Modo Marítimo		Botella			a y de orientados al consumidor

Fuente: Elaboración Propia en base a (NCFRP;NCHRP, 2012)

Cuando se realiza la modelación de transporte de carga basada en carga se determina el flujo de carga de viajes cargados entre dos zonas mas no la cantidad de viajes en vacío (Holguín-Veras & Thorson, Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model, 2003). Esta situación hace que sea necesario considerar dentro del modelo un paso adicional que determine los viajes en vacío que realizan los vehículos de carga, con el fin de que se conozca el número real de viajes de vehículos en el área. Este paso no es necesario cuando la modelación está basada en viajes de vehículos, ya que al momento de levantar la información se determina la cantidad de viajes que no llevan carga.

(Holguín-Veras & Thorson, Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model, 2003) realizaron un resumen de los principales modelos para determinar viajes en vacío :

- En los estudiados por Hautzinger en 1984. Él establece que el número total de viajes Zij es igual al número total de viajes cargados (Xij) y vacíos (Yij) entre la zona i y j:

Ecuación 25 $\boldsymbol{Z_{ij} = X_{ij} + Y_{ij}}$ **,**

en donde

Ecuación 26 $\boldsymbol{X_{ij} = \frac{m_{ij}}{a_{ij}}}$

es el número de viajes cargados entre i y j. mij es el flujo de la mercancía entre i y j, y aij(dij) es la carga útil promedio medida en toneladas por viaje, la cual está en función de la distancia dij.

- En el Modelo proporcional de Naïve estima los flujos de los vehículos en función del flujo de la mercancía:

Ecuación 27 $z_{ij=\frac{mij}{\overline{m}}}$

donde $\overline{m}$ es una constante que se determina empíricamente que representa la carga útil promedio para viajes cargados o vacíos.

- La Formulación Noortman & Van Es (1978) asume que el número de viajes vacíos en una dirección está en función del flujo de mercancías de la dirección opuesta multiplicada por una constante empírica p_0. Se asume que la carga útil promedio es igual en ambas direcciones aij=aji. La ecuación de esta formulación es

Ecuación 28 $\boldsymbol{z_{ij} = \frac{1}{a_{ij}}(m_{ij} + p_0 m_{ji})}$.

(Holguín-Veras & Thorson, Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model, 2003) realiza una reinterpretación de esta formulación y establece que el número total de viajes de vehículos

Ecuación 29 $\boldsymbol{E(z_{ij}) = \frac{m_{ij}}{a_{ij}} + x_{ji} P_{ij}^{E}}$

, donde P_{ij}^{E} es la probabilidad de un viaje vacío de i a j, el cual puede ser estimado como

Ecuación 30 $\boldsymbol{P_{ij}^{E} = P(j) P(\frac{E}{j})}$.

,donde P(j) es la probabilidad seleccionar j como siguiente destino en un tour y P(E/j) es la probabilidad de no ser cargado dado que j es seleccionado como siguiente destino.

- El modelo propuesto de Holguín-Vera & Thorson, 2003 se basa en el modelo de Noortman & Van Es y en el modelo “Cadena de Viaje de la Primera Orden”. Este último estima la selección de un destino adicional teniendo en cuenta el primer viaje. Los otros modelos descritos anteriormente son del tipo “Cadena de Viaje de Cero Orden”, es decir que no toman en cuenta las cadenas de viajes de los vehículos de carga, lo cual en una ciudad no es común que se presente, en especial aquellas ciudades que cuenten con empresas de transporte de carga con una estructura logística óptima.

Teniendo en cuenta lo anterior la formulación de (Holguín-Veras & Thorson, Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model, 2003):

Ecuación 31 $$E(z_{ij}) = \frac{m_{ij}}{a_{ij}} + p\frac{m_{ij}}{a_{ij}} + \gamma \sum_{h \neq j} x_{hi} \left(\frac{m_{ij}(d_{ij}+d_{hi})^{-\beta}}{\sum_l m_{il}(d_{il}+d_{hi})^{-\beta}} P^h(E/j) \right)$$

donde p,γ, βson parámetros para ser determinados empíricamente.

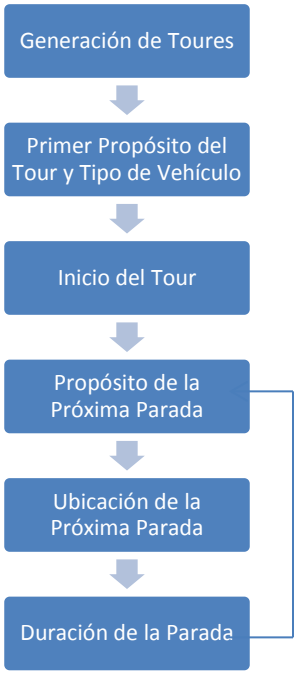
3.2.4 Modelo de Toures de Carga

"*Los modelos basados en toures son secuenciales desde un origen a un destino que toma en cuenta restricciones de tiempo y espacio entre los viajes de un mismo tour*" (Horowitz & Melendez, 2010). En este sentido, este modelo se diferencia con el tradicional modelo de cuatro pasos, principalmente en la capacidad de captar el comportamiento de "cadena" que tiene el transporte de carga, el cual no realiza únicamente la parada de destino sino que hace más de una parada para realizar entregas o transbordo de mercancías o paradas técnicas para el servicio del vehículo. Este modelo puede ser confundido por el modelo basado en actividad el cual es la contraparte logística del modelo de *toures*, sin embargo, el modelo de *toures* no estima directamente el movimiento de mercancías, pero si establece el volumen de vehículos de varias rutas (Srivastava).

El modelo de *toures* usa como unidad de análisis el tour del vehículo, el cual se define como la interrelación secuencial de los movimientos realizados de un vehículo. Esto permite que la información que se genera del modelo sea más detallada; de esta forma se pueden generar políticas más adecuadas gracias a que se conocen las particularidades del movimiento de los vehículos de carga.

Uno de los modelos de *toures* más destacados es el de "Microsimulación basada en *Toures* de Movimiento de Vehículos Comerciales" desarrollado por (Hunt & Stefan, 2007) para Calgary, Canada. Este modelo "*usa técnicas de Monte Carlo para asignar los atributos de cada tour en la lista de toures generados para cada zona, incluyendo propósitos de viaje, tipo de vehículo, propósito de la próxima parada, ubicación de la próxima parada, y duración de la próxima parada*" (Hunt & Stefan, 2007).

Figura 21.Esquema de la Microsimulación basada en Toures



Fuente: Elaboración Propia Basado en (Hunt & Stefan, 2007)

En el primer paso, Generación de *Toures*, el número de *toures* generados por cada zona por cada periodo de tiempo es determinado. Se utiliza una función de regresión exponencial para determinar la tasa de *toures* por empleado por determinado establecimiento de cierta zona (Hunt & Stefan, 2007) (Yang):

Ecuación 32 $$TPE^{est,zona} = \exp(TRC^{est} + (\sum_{atributos} \theta^{est}_{atributo} X\ Atributo\ del\ Nivel\ Zonal))$$

Donde TPE es el número de toures por empleado por una categoría de establecimiento, TRC es un término constante en la ecuación de regresión por una categoría dada de establecimiento, atributo del nivel zonal (uso de suelo residencial, uso de suelo comercial, uso de suelo industrial, nodo de empleo, etc), y θ es un parámetro que se estima utilizando la expansión a nivel zonal de los números de toures hechos por empleados en cada una de las categorías de establecimientos junto con empleos totales zonales. La categoría de establecimiento se puede clasificar en industrial, establecimiento de ventas al por mayor, grandes superficies, servicios, y transporte (Hunt & Stefan, 2007).

Según las regresiones realizadas por (Hunt & Stefan, 2007) en Calgary el mejor coeficiente de determinación R^2 se presentó para los establecimientos de tipo industrial, en los demás tipos de establecimientos no presentaron coeficientes satisfactorios, sin embargo, el autor decidió usar los coeficiente hallados porque consideró que representaba consistentemente las tasas de toures generados.

Ahora bien, este modelo considera el paso intermedio de dividir los toures en periodos de tiempo, lo cual ayuda a caracterizar de mejor forma los toures realizados en un día. Para el caso de la ciudad de Calgary se proponen 5 periodos: i) principios hora valle (12 a.m-7 a.m) ii) Hora pico mañana (7 a.m-9 a.m) iii) Hora pico de medio día (9 a.m- 4 p.m) iv) Hora pico tarde (4 p.m-6 p.m) v) última hora valle (6 p.m-12 a.m) (Hunt & Stefan, 2007).

La división de periodos se determina mediante un modelo logit a partir de la siguiente función de utilidad (Hunt & Stefan, 2007):

Ecuación 33 $$U^{pt} = ASC^{pt} + (\sum_{atributos} \theta_{atributos} * \ periodo\ de\ tiempo\ zona * nivel\ de\ atributo)$$

Donde ASC^{pt} es la alternativa específica constante para un periodo de tiempo
Si los coeficientes de cierto periodo resultan negativos significa que es menos probable que el tour del vehículo comercial inicie en dicho periodo, si son positivos significa una mayor probabilidad de que el tour inicie en ese periodo (Yang).

"*Basado en los resultados de tasas de viajes y la localización de toures en franjas de tiempo, se crean toures discretos. Cada característica y atributo del tour discreto es individualmente simulado en cada paso del esquema de microsimulación*" (Yang).

El siguiente paso determina el primer propósito del tour y paralelamente determina el tipo de vehículo. El propósito puede ser movimiento de mercancía, servicio, u otro, y el tipo de vehículo puede ser liviano, peso medio, y pesado. De nuevo en este paso se utiliza un modelo logit a partir de la siguiente fórmula de utilidad general que combina el propósito del tour y el tipo de vehículo:

Ecuación 34 $U^{proposito,vechivulo} = ASC^{p,v} + \theta^{p}_{uso\ suelo} + \theta^{v}_{uso\ suelo} + \theta^{p}_{est} + \theta^{v}_{est} + \theta^{veh,uso\ suelo}_{pop\ acc} * accesibilidad\ población\ por\ zona\ de\ generación\ y\ tipo\ de\ vehiculo + \theta^{veh,uso\ suelo}_{emp\ acc} * accesibilidad\ de\ empleo\ por\ zona\ de\ generación\ y\ tipo\ de\ vehículo$

Donde $ASC^{p,v}$ es la alternativa constante específica para una combinación dada de un propósito de tour y tipo de vehículo.

$\theta^{p}_{uso\ suelo}$ y $\theta^{v}_{uso\ suelo}$ son constante por tipo de vehículo y propósito del tour con diferente valores para el tipo de uso del suelo por la zona donde el tour es generado

$\theta^{p}_{est} y\ \theta^{v}_{est}$ son constante por tipo de vehículo y propósito del tour con diferentes valores para el tipo de establecimiento.

El tercer paso determina el inicio del tour por cada periodo de tiempo encontrado anteriormente. Los siguientes pasos determinan el propósito del siguiente tour, nuevamente mediante modelos tipo logit y mediante una función de utilidad según el propósito. Finalmente, se determina la localización de la siguiente parada identificada anteriormente, desde que esta no sea el retorno al establecimiento. Nuevamente es aprovechado el modelo tipo logit para determinar la ubicación.

3.2.5 Herramientas de Modelación de Transporte de Carga

Según Mario, Galelo & Martins (2008) se han desarrollado herramientas informáticas para modelar la actividad logística. Entre las más conocidas se encuentran:

- Freturb, el cual ha sido desarrollado en Francia por el *Laboratoire d´Economie des Transports*, es apto para analizar y evaluar escenarios, y calcular el número total de vehículos generados por cada zona. Sin embargo, se ha recomendado usar este software únicamente en algunas ciudades francesas.

- Wiver desarrollado conjuntamente por IVU Traffic Technologies AG y PTV AG, calcula el número total de viajes generados por cada origen y segmenta los viajes

en función de la actividad económica y tipo de vehículo. Esta herramienta ha sido utilizada en la Unión Europea.

- VISEVA ha sido desarrollado en conjunto con Technische Universitat Dresden y PTV AG, sobre WIven. Esta herramienta incluye un modelo de sistemas dinámicos, y permite incluir efectos de tiempo.

- La herramienta NATRA ha sido desarrollada sobre un extenso estudio hecho en la región de Estocolmo. Esta herramienta realiza cálculos de flujos entre varias áreas consideradas en el estudio.

- Finalmente la Technical University of Delft ha desarrollado la herramienta GOODTRIP, la cual calcula los flujos, el tráfico generado por estos flujos y los respectivos impactos

Estas herramientas y los diferentes modelos de demanda tienen una gran importancia y permiten implementar políticas más acertadas en cuanto a logística urbana para tratar de lograr una menor congestión, mayor competitividad en el mercado, menores emisiones de gases efectos invernadero, localizar facilidades regionales de logística y de entrega local, mejorar la red de vías para camiones pesados, fomentar la eficiente actividad de carga y descarga en el centro de la ciudad, entre otros.

3.2.6 Aprovechamiento de los Modelos de Transporte de Carga Urbano

Con una acertada caracterización de la demanda de transporte de carga se puede proponer políticas de ordenamiento territorial y de manejo logístico de la carga de forma más aproximada a la realidad. Así mismo, es posible que se incorpore en los POT un plan de ordenamiento logístico apropiado, y se definan políticas prioritarias de estrategias encaminadas a optimizar la logística urbana.

Entre las medidas que son factibles de implementar con base en una buena caracterización del transporte de carga urbano se encuentran:

Tabla 11.Agrupación de Medidas para Mejorar la Logística Urbana

Tipo de Medida	Ejemplo
Medidas legislativas y organizacionales	Sistemas logísticos cooperativos, fomentar entregas nocturnas, participación público privada, depósitos intermedios de entrega
Medidas de acceso restrictivo	Accesos restrictivos acorde con las características del vehículo (Peso y Volumen). Condicionando el acceso en áreas peatonales. Peajes urbanos. Restricciones periódicas.
Medidas de administración territorial	Creación de área de carga y descarga, de transferencia de cargas, y minis plataformas logísticas.
Medidas Tecnológicas	GPS, sistemas de seguimiento y rastreo, software de planeación de ruta, sistemas inteligentes de transporte, adopción de vehículos no contaminantes y vehículos adaptados a las características urbanas.
Medidas de Infraestructura	Construcción de centros de distribución urbana, y facilidades de almacenamiento en periferias, uso de carriles para carga (Tramos de Carga), soluciones de carga subterránea.

Fuente: *Business models in urban logistics*- Rosario Macario, Ana Galelo, paulo M. Martins, 2008.

4. Aplicación Modelo de Transporte Carga Urbano en Bogotá

Los modelos de carga de demanda que se describieron en el capítulo anterior requieren de información específica para que sea posible su aplicación. En este sentido y considerando que se cuenta con información limitada se desarrollaron los siguientes modelos al transporte de carga de la ciudad capital de Bogotá:

Generación y Atracción:

- *Factores de Crecimiento*
- *Regresiones Lineales*

Distribución:

- *Fratar*
- *Modelo de Gravedad*
- *Oportunidades Intervenidas*
- *Programación Lineal*

Viajes en Vacío:

- *Nortman and Van Es*

A continuación se indican los modelos que no se aplicaron para el caso de Bogotá y su justificación:

Modelos de Generación y Atracción:

Modelos de Sistemas Dinámicos:

Estos son modelos que requieren información robusta para alimentar los submodelos económicos, políticos, sociales, demográficos, tecnológicos, y asimismo de un equipo interdisciplinario que analice los resultados de los demás submodelos. Esto requiere de información interdisciplinaria y de recursos humanos con otras especialidades para el desarrollo exitoso del modelo, recursos que son un limitante para su desarrollo.

Modelo de Tasas de Viaje Zonales:

Para utilizar este modelo es necesario que previamente existan tablas que indiquen las tasas de viajes generados según el tipo de vehículo y características económicas o demográficas de cierta zona. En la ciudad de Bogotá no se han generado este tipo de herramientas, por lo cual no es posible desarrollar este modelo.

Modelo Insumo-Producto:

Para desarrollar este modelo a nivel urbano es necesario contar con matrices Insumo-Producto a nivel de Unidad de Planeamiento Zonal, o de Localidad, o de un nivel desagregado para analizar el intercambio económico a nivel interno de la ciudad. Para el caso de la ciudad de Bogotá se cuenta con matrices Insumo-Producto de diferentes años pero a un nivel agregado[2] (a nivel de ciudad), mas no a un nivel desagregado.

Es por esto que en Colombia no es posible utilizar este modelo a nivel urbano. A nivel regional es posible utilizarlo si se cuenta con matrices insumo-producto de diferentes ciudades o regiones, así es posible analizar los viajes generados o atraídos por cambios en la producción de cierto sector económico.

[2] Desarrolladas tanto por el DANE como por el Distrito de Bogotá para el año 2000 y 2005

Modelos de Distribución:

Modelo de Demanda Directa:

A pesar de que es posible contar con información secundaria para desarrollar esta clase de modelos. Hasta el momento este tipo de modelos han sido desarrollado para el análisis de transporte a nivel local, por lo cual no se priorizó para ser desarrollado en esta investigación.

Pese a esto se considera importante que en los próximos trabajos investigativos que se realicen se tenga en cuenta este tipo de modelos, aún más si se considera que es posible encontrar la mayor parte de la información que requiere, y que cuenta con un gran potencial en proyectar adecuadamente la movilidad de carga a nivel urbano.

Modelos de Equilibrio:

Este modelo requiere un análisis de un paso que está por fuera del alcance de esta investigación: el flujo vehicular en los corredores de la ciudad. En este sentido, no se analizará en este trabajo el modelo de equilibrio para determinar viajes en pares origen destino con base a volúmenes de flujos vehiculares, sin embargo, se recomienda que en investigaciones posteriores se analice este modelo para el transporte de carga urbano en las ciudades colombianas.

Modelos de Viajes en Vacío:

El modelo de Naive no fue considerado para desarrollarse en este trabajo de investigación ya que es un modelo simple que se considera poco útil en comparación con el modelo de Nortman Van Es, el cual contiene conceptos del modelo de Naive.

Al igual, no fue considerado el modelo de Holguin Veras & Thorson, ya que este modelo considera la selección de un destino adicional en el viaje de transporte de

carga, lo cual se da cuando las empresas de transporte de carga de una ciudad cuentan con una estructura operacional logística robusta. El transporte de carga de Bogotá aún no cuenta con dicha robustez para que se tome en cuenta cadenas de viajes de vehículos de carga.

Modelo Basado en Toures:

Este modelo requiere que se tome información de los movimientos secuenciales que realiza un vehículo de carga desde un origen a un destino. Información que no ha sido tomada en la ciudad de Bogotá y que impide desarrollar este modelo en este trabajo investigativo.

Para aplicar los modelos se utilizaron tres estudios desarrollados para el transporte de carga de la ciudad de Bogotá. Dichos estudios se realizaron en tres periodos diferentes y comprenden:

- Estudio desarrollado en el año 2000 que tuvo como objeto "*analizar la situación del transporte de carga en la ciudad y proponer acciones de infraestructura, operativas, legales y ambientales que permitan ordenar y mejorar su operación teniendo en cuenta el POT y consideraciones de orden socioeconómico*", y que fue contratado por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital mediante el Contrato 154/99.
- "*Estudio para determinar la matriz origen destino de carga y desarrollo de acciones para la regulación de la logística de carga interna en la ciudad*"-Steer Davies Gleave-2010
- *"Estudio Centros de Actividad Logística de Carga de Bogotá (CALCAB)" BCEOM-2008*

La aplicación de los modelos se realizó tanto para viajes de vehículos de carga como para toneladas de carga. Esto teniendo en cuenta que en el transporte de carga existe mayor diferencia entre la modelación de los volúmenes y la de los viajes, debido a diversos factores como el tamaño de empresa, el tipo de empresa, la organización operativa, entre otros.

4.1 Aplicación Modelos de Generación-Atracción

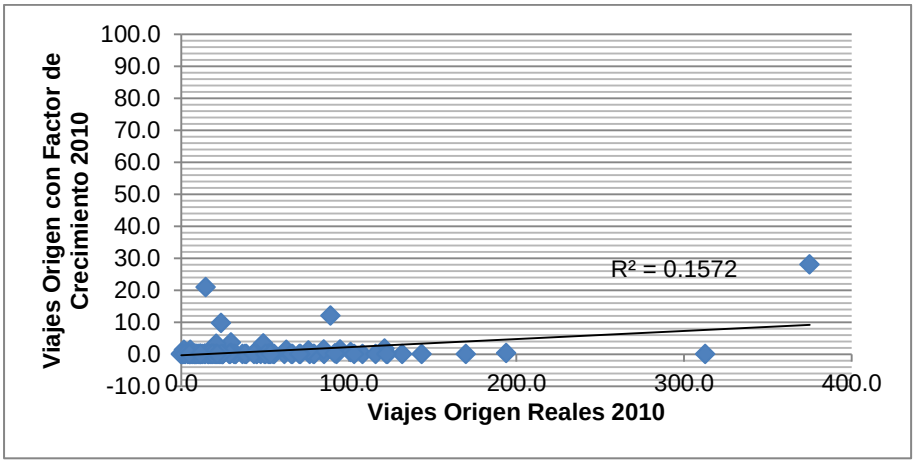
4.1.1 Aplicación Modelo de Factores de Crecimiento (Modelos de Tendencia y Series de Tiempo)

Para la aplicación de este modelo se tomaron tres tipos de factores de crecimiento: i) Factor Anual de Crecimiento basado en tendencias históricas, ii) Factor Anual de Crecimiento basado en crecimiento poblacional y iii) Factor Anual de Crecimiento basado en crecimiento de edificaciones comerciales y bodegas.

Factor Anual de Crecimiento basado en tendencias históricas

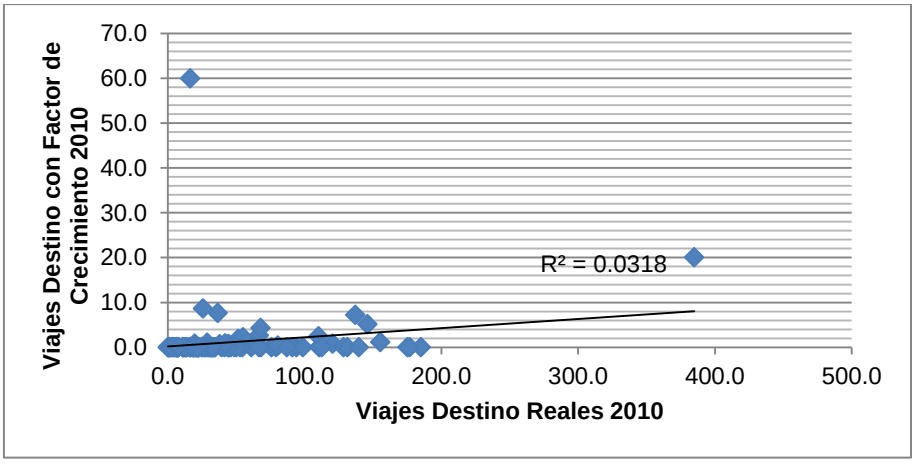
Este factor de crecimiento tuvo en cuenta el crecimiento histórico de los viajes. Se calculó usando la Ecuación 4 el Factor Anual de Crecimiento de los viajes origen considerando los viajes origen del año 2000 y los viajes origen del año 2007 en cada Unidad de Planeamiento Zonal-UPZ. De la misma forma se calculó el Factor Anual de Crecimiento de viajes destino (Ver **Anexo II**).

Gráfico 1. Correlación Viajes Origen Reales 2010-Viajes Origen Factor Anual de Crecimiento Serie Histórica



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 2. Correlación Viajes Destino Reales 2010-Viajes Destino Factor Anual de Crecimiento Serie Histórica



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos luego de aplicar los factores de crecimiento basados en crecimiento histórico (ver **Anexo II**) muestran que para este caso no es adecuado utilizar estos factores ya que al correlacionar el resultado de viajes basados en factores de crecimiento con los viajes reales de 2010, no se encuentra correspondencia. Es así como se obtiene un coeficiente de determinación (r^2) de 0,15 para el caso de orígenes de viajes y de 0,03 para destino de viajes (ver Gráfico 1y Gráfico 2)

Este resultado significa que no existen zonas consolidadas, especialmente las zonas de destino, lo que causa que los patrones de viajes no tengan un crecimiento sostenido histórico.

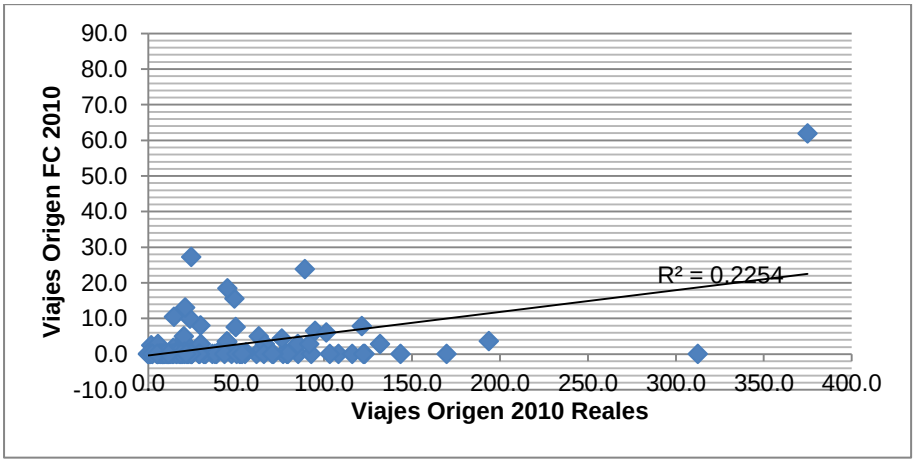
Factor Anual de Crecimiento basado en Población

Este factor de crecimiento tiene en cuenta cambios porcentuales en la población de cada UPZ. Así, el factor anual de crecimiento de la población calculado con la Ecuación 5 se aplica a los viajes y las toneladas movilizadas para hallar sus proyecciones.

El factor de crecimiento poblacional de cada UPZ fue aplicado a los viajes origen y destino del año 2007 proyectando estos viajes al año 2010 (Ver **Anexo II**). Los resultados muestran una mejor correlación entre los viajes reales y los proyectados que el factor de

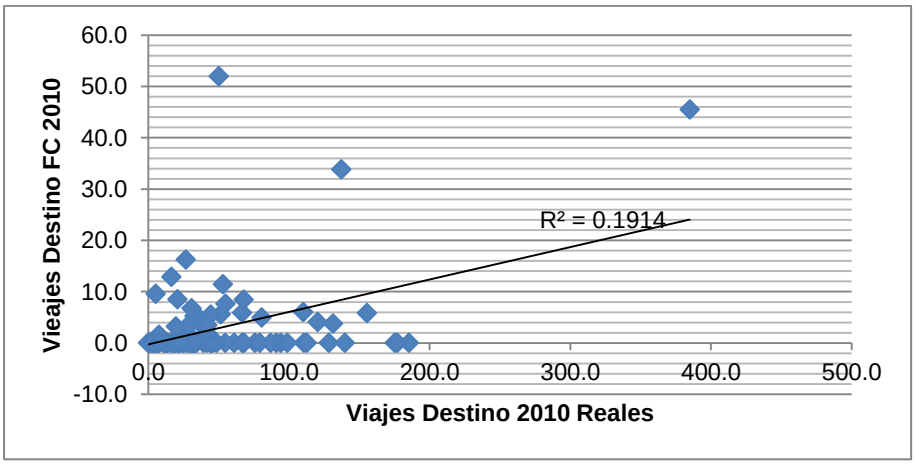
crecimiento basado en tendencias históricas. A pesar de esto, el coeficiente de determinación de 0,22 para el caso de origen de viajes y de 0,19 para destino de viajes no es suficiente (ver Gráfico 3y Gráfico 4).

Gráfico 3. Correlación Viajes Origen Reales 2010-Viajes Origen Factor Anual de Crecimiento basado en crecimiento poblacional



Fuente: Elaboración Propia

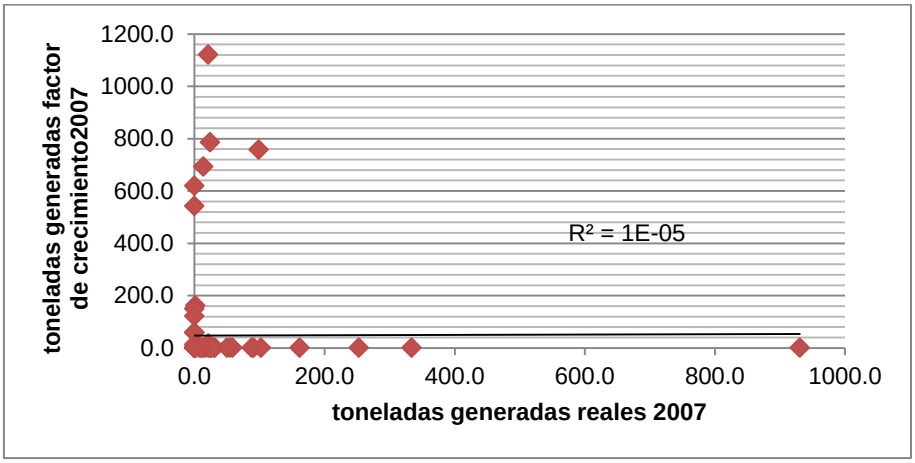
Gráfico 4.Correlación Viajes Destino Reales 2010-Viajes Destino Factor Anual de Crecimiento basado en crecimiento poblacional



Fuente: Elaboración Propia

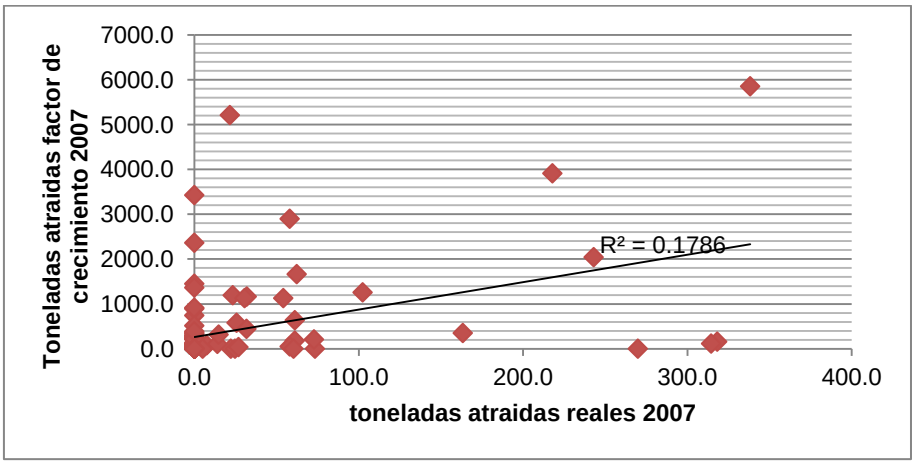
Al igual, el factor de crecimiento basado en población se aplicó a las toneladas por día movilizadas en cada UPZ del año 2000 con una proyección al año 2007.

Gráfico 5. Correlación Toneladas Origen Reales 2007-Toneladas Origen Factor Anual de Crecimiento basado en crecimiento poblacional



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 6. Correlación Toneladas Destino Reales 2007-Toneladas Destino Factor Anual de Crecimiento basado en crecimiento poblacional



Fuente: Elaboración Propia

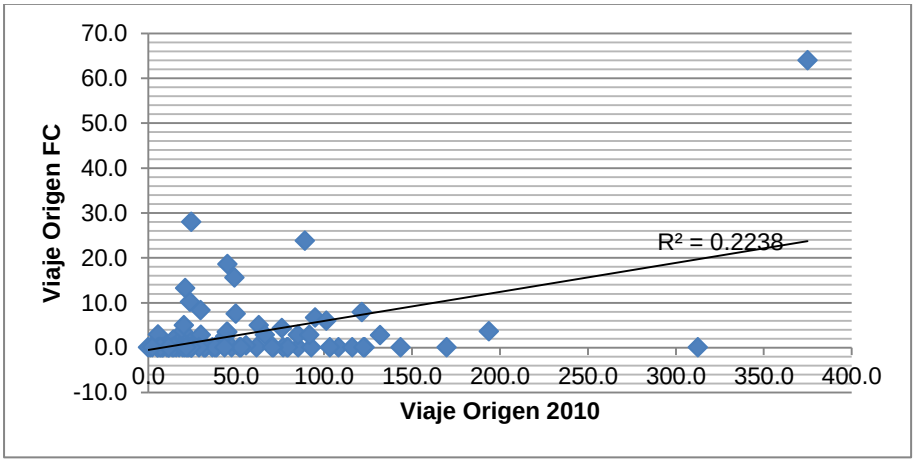
A pesar de que los toneladas movilizadas pueden tener una mejor correspondencia con factores de crecimiento que los viajes de vehículos de carga, debido a que el volumen de carga es determinado por la economía del consumo y la producción (Holguin-Veras, Jaller, Destro, Ban, Lawson, & Levinson, 2011), en este caso se encuentra que el factor de crecimiento basado en población no resulta ser adecuado para proyectar toneladas de carga, como se puede observar en el Gráfico 5 y el Gráfico 6, en donde se muestran coeficientes de determinación bajos de 0,000001 y 0,17 para toneladas generadas y toneladas atraídas respectivamente.

Factor Anual de Crecimiento basado en áreas comerciales y bodegas

Este factor de crecimiento, al igual que el basado en población, tiene en cuenta cambios porcentuales de indicadores relacionados con el transporte de carga. En este caso, el factor anual de crecimiento está basado en las variaciones de metros cuadrados de edificaciones comerciales y bodegas. Este factor se aplica a los viajes y las toneladas movilizadas para hallar las proyecciones en cada UPZ.

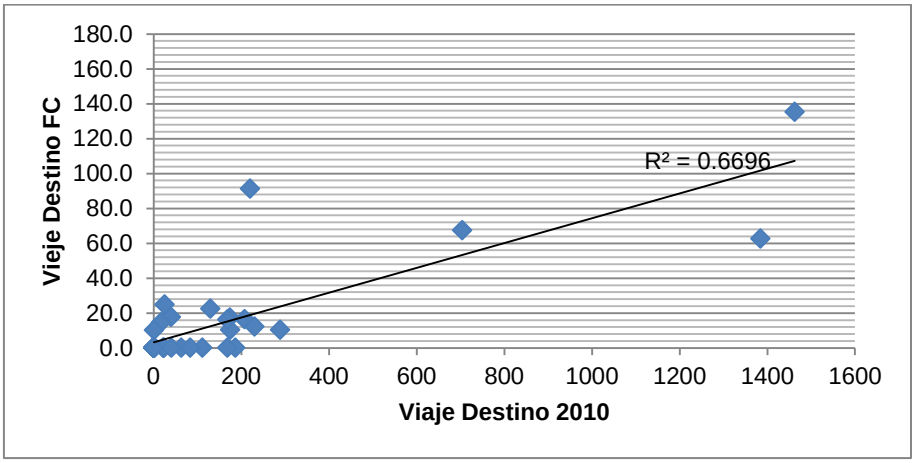
Se aplicó el factor de crecimiento de áreas comerciales y bodegas a los viajes de cada UPZ del año 2007 para estimar los viajes al año 2010 (ver Anexo II) utilizando la Ecuación 5. Los resultados de este modelo muestran una mayor correlación entre los viajes proyectados con el factor de crecimiento y los viajes reales de 2010. Se encuentra así, un coeficiente de determinación de 0,22 para viajes origen y de 0,67 para los viajes destino (ver Gráfico 7 y Gráfico 8). En este sentido, se puede concluir que en caso de que se requieran estimar viajes destino de vehículos de carga en la ciudad de Bogotá, es recomendable utilizar el factor de crecimiento basado en Áreas Comerciales y Bodegas.

Gráfico 7. Correlación Viajes Origen Reales 2010-Viajes Origen Factor Anual de Crecimiento basado en área comercial y de bodegas



Fuente: Elaboración Propia

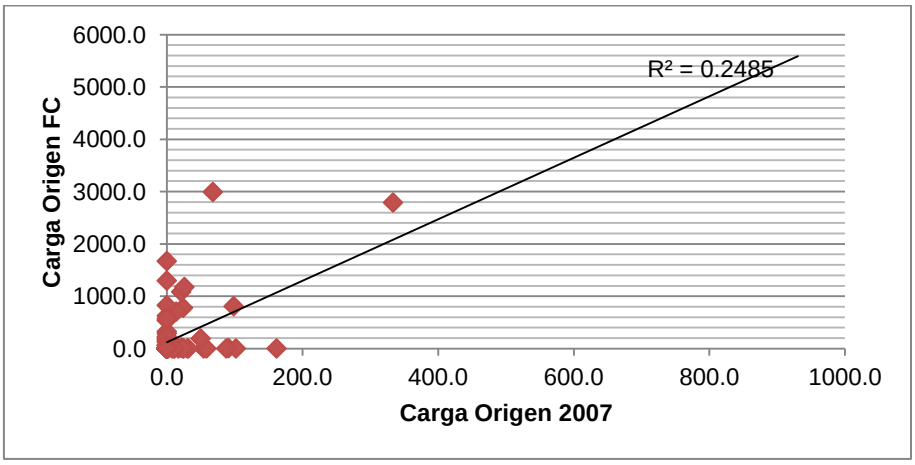
Gráfico 8. Correlación Viajes Destino Reales 2010-Viajes Destino Factor Anual de Crecimiento basado en área comercial y de bodegas



Fuente: Elaboración Propia

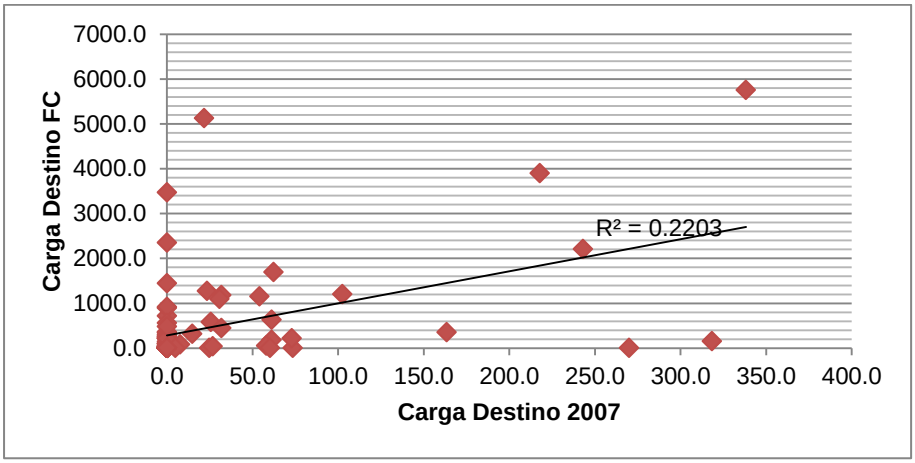
Aplicando el factor de crecimiento basado en área comercial y de bodegas a las toneladas diarias movilizadas por UPZ del año 2000 al año 2007 se obtienen mejores correlaciones a las encontradas en los factores de crecimiento aplicados a toneladas anteriores. Pese a esto, los coeficientes de determinación son aún bajos por lo cual no es totalmente recomendable su uso (r^2=0,25 para toneladas origen y r^2=0,22 para toneladas destino).

Gráfico 9. Correlación Toneladas Origen Reales 2007-Toneladas Origen Factor Anual de Crecimiento basado en área comercial y de bodegas



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 10. Correlación Toneladas Destino Reales 2010-Toneladas destino Factor Anual de Crecimiento basado en área comercial y de bodegas



Fuente: Elaboración Propia

Se concluye entonces que los factores anuales de crecimiento que se basan en crecimientos de edificaciones y de población muestran una mejor correlación que los factores de crecimiento basados en series históricas, sin embargo, se encuentra que los factores de crecimiento aplicados en este trabajo de investigación no son un buen modelo para proyectar viajes y toneladas de carga, a excepción del factor de crecimiento basado en áreas comerciales y de bodegas para el caso de viajes destino.

Se recomienda entonces realizar investigaciones posteriores que examinen la conveniencia de utilizar factores de crecimiento basados en crecimientos de indicadores económicos, diferentes a los aquí estudiados, tales como ingresos de cada zona de análisis de transporte, ingresos tributarios, entre otros; indicadores con los cuales no fue posible contar para esta investigación.

Al igual, es importante tener en cuenta los indicadores recomendados en el estudio Sistema de Indicadores Logísticos en Centros Urbanos (Departamento Nacional de Planeación, 2013) tales como: porcentajes de suelo de uso mixto, comercial, industrial, institucional y de servicios, número de establecimientos hoteleros, restaurantes y bares, número de empresas dedicadas a actividades con potencial requerimiento de servicios de paquetería, número de empresas de producción y manufactura, número de empresas de transporte y almacenamiento, número de zonas de estacionamiento especializadas reservadas para el uso de cargue y descargue en espacio público, número de kilómetros

con restricción para operaciones logísticas, % de vehículos de carga matriculados respecto al total.

Se debe tener en cuenta que contar con toda esta información de forma desagregada resulta idílico, sin embargo, la realidad actual nos muestra un pobre toma de información de forma desagregada para el análisis de logística urbana, lo cual dificulta la labor de planeación y de tomar decisiones estratégicas a largo plazo.

4.1.2 Aplicación Modelo Regresiones Lineales (Modelos de Tendencia y Series de Tiempo)

Este modelo se aplicó tanto para origen y destino de viajes diarios como para origen y destino de toneladas movilizadas diariamente de cada UPZ. Se tomaron en cuenta una gran variedad de variables independientes tomadas de informes de la Secretaría Distrital de Planeación y de la Secretaría Distrital de Movilidad (ver **Anexo III**). Entre estas variables se encuentran algunas recomendadas por Hutchinson y Ogden, tales como empleos, población, y establecimientos.

Como resultado de las regresiones multivariables (ver Tabla 12) se encontró que para proyectar viajes origen, la mejor correlación con un coeficiente de determinación de 0,86 resulta con las 14 variables estudiadas en este modelo: *Área de Oficina (AO), Área Comercial (AC), Área de Bodegas (AB), Unidad de Oficinas (UO), Establecimientos Industriales (EI), Establecimientos Comerciales (EC), Establecimientos de Servicios (ES), Unidad Comercial (UC), Unidad de Bodegas (UB), Población (P), Número Parqueaderos Industriales (#PI), Número Parqueaderos Comerciales (#PC), Empleos Comercio (EmpC), y Empleos Industriales (EmpI)*. En cuanto a viajes destino, y toneladas generadas y toneladas atraídas las mejores correlaciones se obtuvieron, al igual, con las 14 variables mencionadas anteriormente. Los coeficientes de determinación de estos fueron respectivamente 0,81; 0,51; y 0,81 (ver Tabla 12).

Se encontró que utilizando un menor número de variables se pueden también obtener buenas explicaciones de los viajes y toneladas a partir de dichas variables. Pese a esto,

es recomendable utilizar las 14 variables estudiadas para que el modelo proyectivo cuente con una mayor confiabilidad.

Es importante tener en cuenta que los resultados expuestos en la Tabla 12 se obtuvieron luego de eliminar datos atípicos con el método del residual estándar. Aquellos datos que tuvieran un residuo estándar mayor a 2 fueron identificados como datos atípicos.

Igualmente, las variables utilizadas en las regresiones en general no presentan correlaciones altas como se puede observar en la Tabla 13, en donde se demuestra que los coeficientes de correlación entre variables más altos sólo se presentan entre área de oficinas y unidades de oficinas, y entre el número de parqueaderos industriales con el número de parqueaderos comerciales. No obstante, esta correlación no llega a ser igual a 1 así que no existe una endogeneidad absoluta.

Tabla 12. Ecuaciones Lineales de Regresión

	Ecuaciones Lineales de Regresión															
Viajes o Toneladas/Variables	**I**	**AO**	**AC**	**AB**	**UO**	**EI**	**EC**	**ES**	**UC**	**UB**	**P**	**#PI**	**#PC**	**EmpC**	**EmpI**	**R^2**
VO 2010	1,3E+01	1,2E-04	-7,5E-05	7,9E-04	-4,2E-02	6,9E-02	3,6E-03	7,9E-03	1,1E-01	-3,3E-01	-2,5E-04	1,3E+00	-1,5E-01	5,0E-04	-3,4E-04	0,86
VO 2010	2,0E+01		2,4E-04			-9,8E-03	1,9E-02		2,3E-02							0,63
VO 2010	2,1E+01						1,7E-02		9,0E-02							0,64
VO 2010	2,2E+01			7,1E-04		9,9E-02				-3,5E-01	-3,1E-04	2,7E+00			-7,2E-04	0,59
VO 2010	1,3E+01			9,8E-04		6,6E-02				-4,7E-01		3,1E+00				0,33
VO 2010	1,9E+01					5,0E-02						3,0E+00				0,26
VO 2010	3,0E+01					6,5E-02										0,18
VD 2010	2,2E+01	1,2E-04	-1,1E-04	3,0E-04	-4,6E-02	1,9E-02	1,7E-02	1,8E-03	1,3E-01	2,1E-01	-2,5E-04	7,9E-01	-1,0E-01	1,6E-04	-1,1E-03	0,81
VD 2010	1,5E+01		-9,2E-05			2,9E-02	1,3E-02		1,3E-01							0,76
VD 2010	1,7E+01						1,9E-02		1,2E-01							0,44
TG 2007	4,4E+00	-2,1E-05	2,8E-04	-1,4E-04	1,6E-02	-4,3E-03	1,6E-02	-1,0E-02	-1,3E-02	-9,8E-03	-1,1E-05	4,2E-01	-2,6E-01	-3,1E-04	7,8E-04	0,54
TG 2007	-1,5E+00		2,9E-04			-1,5E-02	9,8E-03		-1,1E-02						1,0E-03	0,51
TG 2007	-4,9E-01		3,1E-04				7,2E-03		-1,0E-02							0,49
TG 2007	7,7E+00		3,6E-04						-5,9E-03							0,45
TA 2007	4,2E+02	2,3E-03	-2,2E-03	5,8E-03	-8,7E-01	3,7E-01	3,3E-01	3,4E-02	2,5E+00	4,0E+00	-4,7E-03	1,5E+01	-1,9E+00	3,1E-03	-2,2E-02	0,81
TA 2007	5,4E-01		1,5E-04	1,1E-04		-3,6E-02	1,4E-02									0,46
TA 2007	-2,5E+00					-3,4E-02	1,9E-02									0,34

Fuente: Elaboración Propia

Donde VO es Viajes Origen, VD viajes Destino, TG Toneladas Generadas, TA Toneladas Atraídas, I es Intercepto, AO Área de Oficina, AC área Comercial, AB Área de Bodegas, UO Unidad de oficinas, EI Establecimientos Industriales, EC Establecimientos Comerciales, ES Establecimientos de Servicios, UC Unidad Comercial, UB Unidad de Bodegas, P Población, #PI Número Parqueaderos Industriales, #PC Número Parqueaderos Comerciales, EmpC Empleos Comercio, y EmpI Empleos Industriales

Tabla 13. Correlación entre Variables (R^2)

	área oficinas	área comercial	área bodegas	unidades oficinas	Establecimientos Industriales 2005	Establecimientos comercio 2005	Establecimiento servicios 2005	unidades comerciales	unidades bodegas	Población	numero Parqueaderos Industrial	numero Parqueaderos Comercial	Empleo proyectado Comercio 2010	Empleo proyectado Industrial 2010
área oficinas	1,00	0,01	0,00	0,95	0,00	0,00	0,37	0,00	0,01	0,02	0,05	0,04	0,01	0,01
área comercial		1,00	0,01	0,01	0,24	0,31	0,06	0,66	0,07	0,00	0,10	0,09	0,02	0,17
área bodegas			1,00	0,00	0,08	0,06	0,00	0,01	0,50	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
unidades oficinas				1,00	0,00	0,00	0,39	0,01	0,01	0,02	0,05	0,05	0,01	0,01
Establecimientos Industriales 2005					1,00	0,76	0,35	0,24	0,36	0,24	0,44	0,50	0,00	0,04
Establecimientos comercio 2005						1,00	0,42	0,27	0,20	0,22	0,37	0,44	0,00	0,09
Establecimiento servicios 2005							1,00	0,05	0,05	0,07	0,42	0,46	0,01	0,00
unidades comerciales								1,00	0,07	0,00	0,08	0,08	0,01	0,15
unidades bodegas									1,00	0,11	0,19	0,20	0,00	0,01
Población										1,00	0,20	0,29	0,00	0,01
numero Parqueaderos Industrial											1,00	0,88	0,00	0,00
numero Parqueaderos Comercial												1,00	0,00	0,00
Empleo proyectado Comercio 2010													1,00	0,37
Empleo proyectado Industrial 2010														1,00

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa, el modelo de regresión multivariable es el más indicado para determinar origen y destino de viajes y de carga por encima del modelo de factor de crecimiento. A pesar de esto se debe seguir considerando otras variables para realizar regresiones, como el número de camiones de propiedad privada, el cual fue considerado por (Hutchinson, 1974) en su estudio de transporte de carga en la ciudad de Toronto, y los indicadores del estudio de Sistema de Indicadores Logísticos para Centros Urbanos mencionados anteriormente (subcapítulo 4.1.1. Aplicación Modelo de Factores de Crecimiento (Modelos de Tendencia y Series de Tiempo).

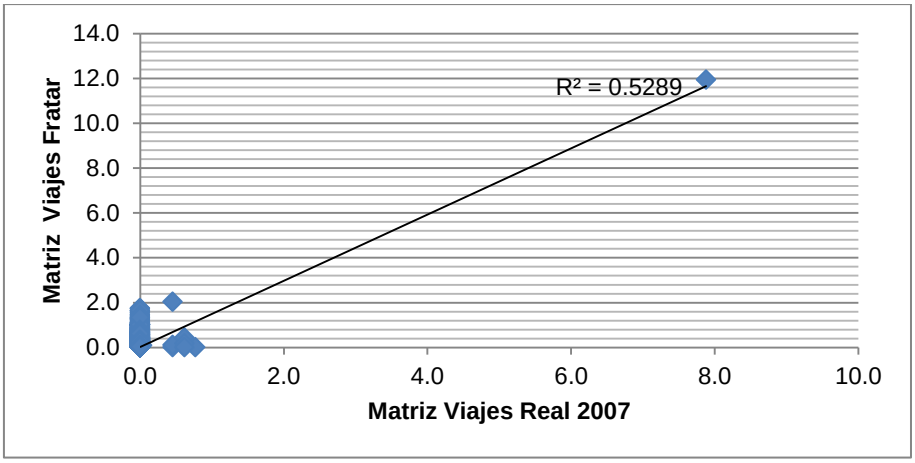
Es importante tener en cuenta que el transporte de carga cuenta con diversidad de cadenas logísticas que tienen comportamientos característicos que son propios a las variaciones económicas de los sectores relacionados. Esto hace necesario que se realicen en próximas investigaciones análisis de las variables que mejor expliquen los viajes y los volúmenes de carga de cada tipo de cadena logística como son: la de alimentos, bebidas, construcción, metalúrgico, etc. Para estas investigaciones es importante tener en cuenta las variables analizadas por (Hutchinson, 1974), tales como: camiones de propiedad privada, trabajadores en la industria manufacturera, oficinas totales, y total empleados de oficina.

4.2 Aplicación de Modelos de Distribución

4.2.1 Aplicación Modelo Fratar

Para aplicar este modelo se realizó un ejercicio inverso, es decir que se implementó el modelo Fratar para hallar la matriz origen-destino del año 2007 a partir de la matriz del año 2010. No fue posible realizar la proyección desde el año 2007 al año 2010 dado que la matriz origen-destino del año 2007 cuenta con diversas celdas nulas, lo que impidió que el modelo convergiera.

Gráfico 11. Correlación Matriz de Viajes Real 2007 y Matriz de Viajes Obtenida por el Modelo Fratar



Fuente: Elaboración Propia

Una vez implementado este modelo se obtuvo la distribución de viajes, se descartaron los datos atípicos que contaran con un residuo estandarizado mayor a 2 y finalmente se contrastó la matriz modelada con la matriz real del 2007. Se encontró que existe un coeficiente de determinación de 0,52, lo que demuestra que el modelo de Fratar es posible utilizarlo para predecir viajes de transporte de carga, sin embargo, la utilización de este modelo está condicionada a que la matriz base de modelación cuente con el número reducido de celdas nulas.

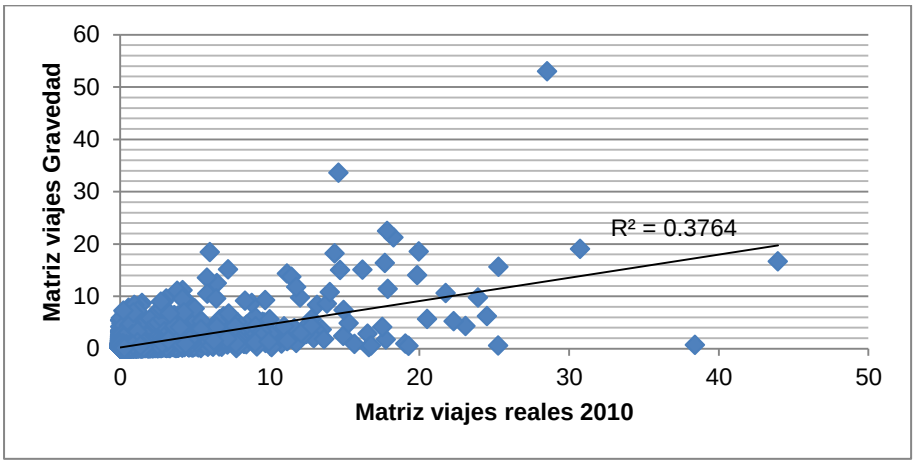
Este buen resultado para el caso de distribución de carga, debe tomarse con prudencia ya que a pesar de que existe una correspondencia con la realidad, el ejercicio fue realizado de forma retrospectiva, y se debe considerar que la información de la matriz del año 2007 no cuenta con información completa lo que impide un veredicto contundente.

4.2.2 Aplicación Modelo Gravitacional

El primer paso del modelo gravitacional consiste en hallar la matriz de impedancia. Esta matriz se calcula con la Ecuación 11 en donde k es la distancia promedio entre pares origen destino y tij es la medida de impedancia entre i y j expresada en este caso en distancia.

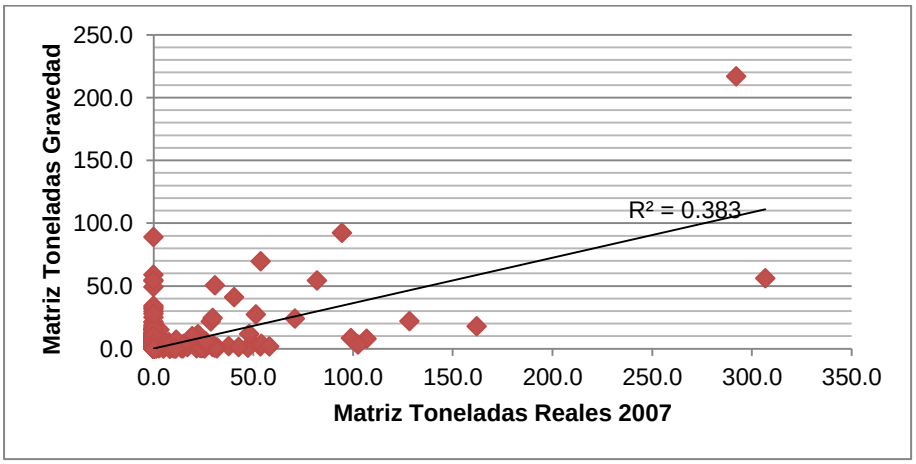
Luego se procede a aplicar el proceso iterativo descrito en el capítulo 3 (Análisis de Modelos de Transporte de Carga Urbano) aplicando la Ecuación 10 para que finalmente se halle la matriz origen destino de viajes de 2010 y la matriz de toneladas atraídas y generadas de 2007.

Gráfico 12. Matriz Viajes Real 2010 y Matriz Viajes Obtenida por el Modelo de Gravedad



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 13. Matriz Toneladas Real 2007 y Matriz Toneladas Obtenida por el Modelo de Gravedad



Fuente Elaboración Propia

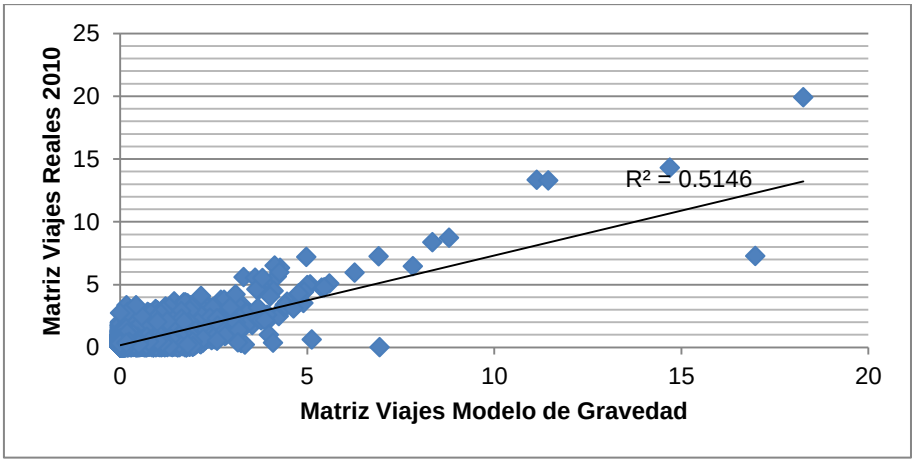
Al correlacionar las matrices obtenidas con el modelo de gravedad con las matrices reales, se encuentra que los viajes modelados tienen valores que podrían ser proporcionales a los reales, sin embargo, los coeficientes de determinación de 0,36 y 0,38 para la modelación de viajes y de carga respectivamente indican que no resulta confiable utilizar este modelo de gravedad con factores de impedancia que estén en

función de la distancia, ya que este no resulta determinante en la modelación de carga a nivel urbano.

Al igual, este modelo gravitacional se desarrolló utilizando como función de impedancia $f(C_{ij}) = C_{ij}^{a} * e^{(-b*C_{ij})}$ (Ecuación 24), en el cual a y b son parámetros que tienen que ser equilibrados. Esta impedancia está en función de los costos, lo cual es más apropiado utilizarlo en el entorno urbano.

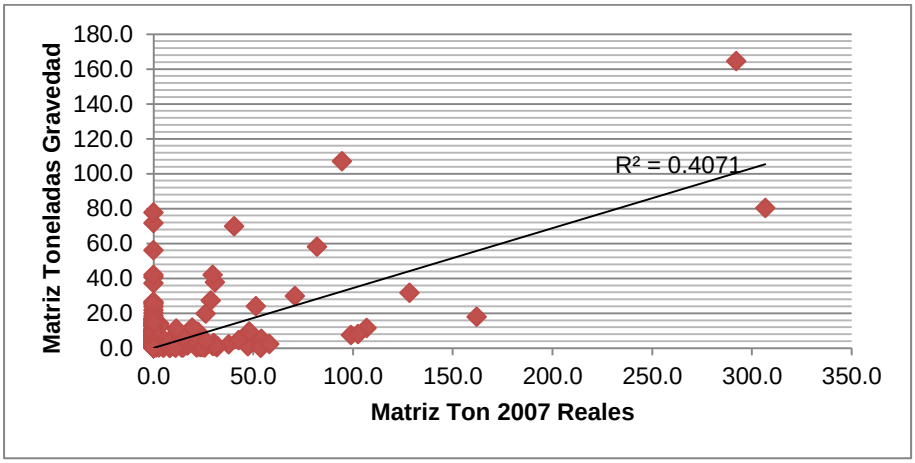
Los resultados del modelo con este factor de impedancia para distribución de viajes, utilizando un a= 1E-3 y b=1E-4, arrojó mejores resultados como se puede observar en el Gráfico 14. Para el caso de carga se utilizó un a= 1E-5 y b=1E-4 y también arrojó mejores resultados que con la impedancia basada en distancias (ver Gráfico 15).

Gráfico 14. Matriz Viajes Real 2010 y Matriz Viajes Obtenida por el Modelo de Gravedad impedancia Costos



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 15. Matriz Toneladas Real 2007 y Matriz Toneladas Obtenida por el Modelo de Gravedad impedancia Costos



Fuente: Elaboración Propia

A pesar de que los coeficientes de determinación con impedancias basadas en costos no son significativamente mayores a las impedancias basadas en distancias, se demuestra que la variable de costos utilizada en la función de impedancia tiene una incidencia mayor en el entorno urbano.

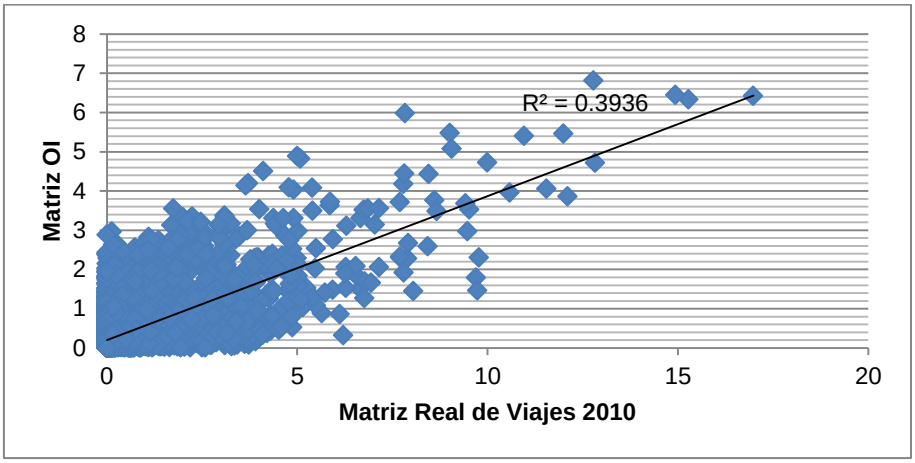
En este sentido y a pesar de que con este modelo no se obtuvieron correlaciones satisfactorias, es preciso realizar este modelo de gravedad con otros factores de impedancia para evaluar la conveniencia de utilizar este reconocido modelo al transporte urbano de carga en las ciudades Colombianas.

La facilidad del uso de este modelo, su convergencia rápida y la posibilidad de considerar diversos factores de impedancia resultan ventajosas con respecto a los otros modelos.

4.2.3 Aplicación Modelo de Oportunidades Intervenidas

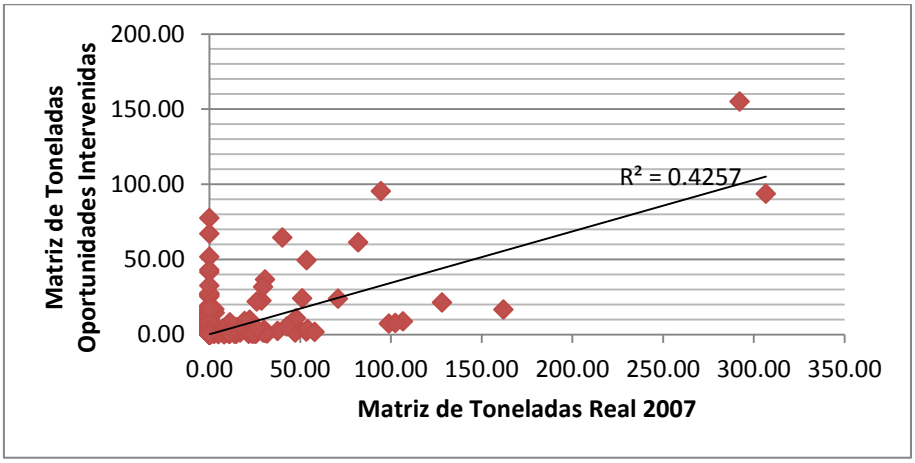
El modelo de oportunidades intervenidas es novedoso tanto en la modelación de transporte de pasajeros como en la de carga. Por esto, la aplicación de este modelo y la evaluación de su utilidad resultan beneficiosas y representa un primer paso para determinar la conveniencia de su uso en entornos urbanos colombianos.

Gráfico 16. Correlación Matriz Viajes Real 2010- Matriz de Viajes basada en Oportunidades intervenidas



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 17. Correlación Matriz Toneladas Real 2007-Matriz Toneladas basada en Oportunidades Intervenidas



Fuente: Elaboración Propia

Este modelo se desarrolla aplicando la Ecuación 19. Se debe tener en cuenta que las probabilidades de los destinos de cada origen se evalúan de forma ordenada con respecto a la distancia entre estos puntos. Es decir que cada destino de cada origen se debe ordenar desde el que se ubique a una menor distancia hasta el de mayor distancia. Así, la probabilidad de aceptación de cierto destino j+1 estará sujeta la probabilidad de aceptación del destino j.

Al realizar la correlación de las matrices reales con las matrices halladas con el modelo de oportunidades intervenidas se encuentra que existe un coeficiente de determinación de 0,39 para la matriz de viajes y de 0,42 para la matriz de carga. Esto muestra un resultado un poco mejor que el modelo de gravedad, sin embargo, no hay una preponderancia de los resultados de este modelo sobre los del modelo gravedad.

Las Oportunidades Intervenidas presentan como ventaja principal la mínima información que requiere para su procesamiento. Sólo se necesita de las distancias para ordenar las oportunidades rechazadas o aceptadas de cada origen y de los viajes o toneladas atraídas y generadas. Esta ventaja recobra más importancia si se tiene en cuenta que en Colombia no existe el hábito de recolectar información primaria detallada y actualizada del sector transporte.

La desventaja de usar este modelo es que al considerar únicamente el orden de los destinos y la generación y atracción de carga o viajes, se ignoran otros factores que son determinantes en el transporte de carga a nivel urbano como los costos de transporte y los usos de suelo.

4.2.4 Aplicación Modelo Programación Lineal

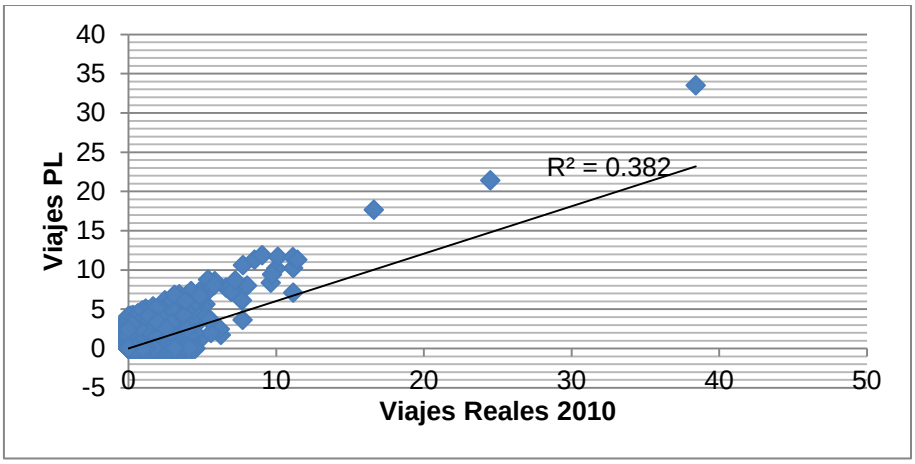
Para aplicar el modelo de programación lineal (Ecuación 21) fue necesario hallar en primer lugar la distancia lineal que existe entre cada par origen destino, luego, se aplicó la función de costo por tonelada kilómetro para camiones tipo C2 y para la ciudad de Bogotá, la cual tiene en cuenta la restricción nocturna y está en función de la distancia (Universidad de Los Andes, 2013):

$$Y = 0{,}0029x^2 - 1{,}444x + 480{,}43$$

Esta función finalmente se multiplica por la distancia de cada par origen destino para contar así con la matriz de costos por toneladas entre cada zona. Con esta matriz es posible utilizar el método simplex de programación lineal, el cual minimiza la función $Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij}$ y está sujeta a que la suma de los viajes de la zona de origen sean

igual a la oferta disponible de la zona de origen i y que la suma de los viajes de destino sean igual a la demanda del destino j.

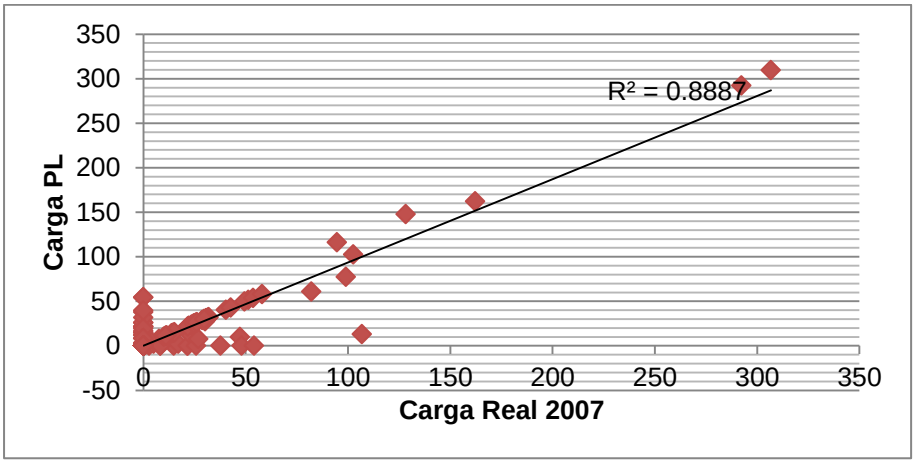
Gráfico 18. Correlación Matriz de Viajes Reales 2010-Matriz de Viajes Basada en Programación Lineal



Fuente: Elaboración Propia

Se encuentra entonces que el modelo de programación lineal muestra resultados similares en el caso de la distribución de viajes de carga. No obstante, para el caso de toneladas la correlación encontrada es satisfactoria ya que el coeficiente de determinación calculado resultó de 0,88, lo que demuestra la conveniencia de usar este modelo para el caso de distribución de toneladas de carga. Aunque este coeficiente de determinación resulta ser satisfactorio, se debe tener en cuenta que este buen resultado se debe a que la gran mayoría de las celdas de los vectores de atracción y generación de carga del año 2007 contaban con datos nulos lo cual facilitaba a este modelo predecir de mejor forma la distribución de carga.

Gráfico 19. Correlación Matriz de Carga Real 2007-Matriz de Carga basada en Modelo de Programación Lineal



Fuente: Elaboración Propia

Este modelo es muy ventajoso porque considera la minimización de los costos de transporte de carga que existen entre zonas (variable decisiva en el transporte de carga). Pese a esto, el costo de transporte de carga no es la única variable que puede influir en la decisión del destino del viaje, de modo que la distribución de viajes no necesariamente cuente con una acertada proyección.

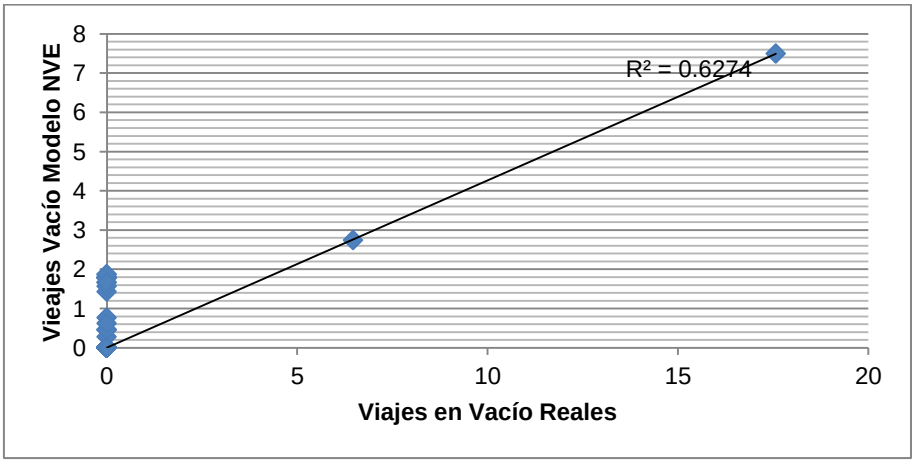
4.3 Aplicación de Modelo de Viajes en Vacío (Modelo Noortman Van Es)

Mediante el uso del modelo propuesto por Noortman Van Es (Ecuación 28) se halló el número de viajes en vacío que se realizaron en el año 2007. Para la aplicación de este modelo se encontró primero la carga útil, la cual se calcula dividiendo las toneladas que se movilizan entre cada viaje desde el origen i hasta el destino j ya que se asume que esta carga es igual en ambas direcciones aij=aji. En el caso de esta investigación fue posible calcular esta carga útil por cada UPZ, sin embargo, en situaciones en donde no se cuente con información detallada es necesario consultar el promedio de carga útil que es habitual en la ciudad e implementarlo a todas las Zonas de Análisis de Transporte; para el caso Bogotano se encontró que el promedio de la carga útil es de 0,0765 Toneladas por viaje Posteriormente se halla la constante p_0 mediante un proceso

iterativo en donde se aplica la Ecuación 28 $\boldsymbol{z_{ij} = \frac{1}{a_{ij}}(m_{ij} + p_0 m_{ji})}$., hasta que se encuentre una constante que se acerque a los viajes reales.

Una vez realizado el proceso anteriormente descrito se toma sólo la parte de la Ecuación 28 que describe los viajes en vacío $\frac{p_0 m_{ji}}{a_{ij}}$ y se compara estos viajes en vacío modelados con los reales. Correlacionando este resultado con el número real de viajes en vacío resultó que este modelo es factible utilizarlo para el caso Bogotano, dado que el coeficiente de determinación de la regresión resultó de 0,62.

Esto demuestra que el modelo *Noortman Van Es*, es viable aplicarlo en Bogotá y que asimismo actualmente no es necesario considerar modelos que consideren cadenas de viajes. Esto teniendo en cuenta que en Bogotá y en general en Colombia aún no existe una integración y una apropiada planeación por parte de la mayoría de las empresas de transporte que movilizan carga. Es decir, que aplicar un modelo que considere diversas actividades de carga al regreso de su principal destino aún no es pertinente considerarlo debido a la débil gestión de transporte de carga en Bogotá y en general en las ciudades colombianas.



Fuente: Elaboración Propia

Este modelo es recomendable utilizarlo para el caso Bogotano por su simplicidad y porque considera que los viajes en vacío están en función a los viajes que se presenten de regreso, situación que se presenta usualmente en la capital. Las desventaja de utilizar este modelo se halla únicamente en que no considera destinos adicionales de viajes, lo

cual para el caso Bogotano no es determinante porque como se mencionó anteriormente las empresas de transporte de carga aún no cuentan con una fortaleza operacional para optimizar los viajes de carga.

4.4 Resumen Resultados

A continuación se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos en la aplicación de los modelos de transporte de carga urbano:

Tipo	Modelo	Coeficiente de Determinación
Factor de Crecimiento	Basado en Series Históricas (viaje Origen)	0,16
	Basado en Series Históricas (viaje Destino)	0,03
	Basado en Población (viajes origen)	0,22
	Basado en Población (viajes destino)	0,19
	Basado en Población (Toneladas origen)	0,00
	Basado en Población (Toneladas destino)	0,18
	Basado en Áreas Comerciales y Bodegas (viajes origen)	0,22
	Basado en Áreas Comerciales y Bodegas (viajes destino)	0,67
	Basado en Áreas Comerciales y Bodegas (toneladas origen)	0,24
	Basado en Áreas Comerciales y Bodegas (toneladas destino)	0,22
Regresiones Lineales	Regresiones Lineales (Viajes Origen)	0,86
	Regresiones Lineales (Viajes Destino)	0,81
	Regresiones Lineales (Carga Origen)	0,54
	Regresiones Lineales (carga Destino)	0,81
Factores de Crecimiento Distribución	Fratar (matriz viajes)	0,52
Interacción Espacial Oportunidades Intervenidas	Modelo de Gravedad (matriz de viajes; impedancia distancia)	0,38
	Modelo de Gravedad (matriz de toneladas; impedancia ditancia)	0,38
	Modelo de Gravedad (matriz de viajes; impedancia costos)	0,51
	Modelo de Gravedad (matriz de toneladas; impedancia costos)	0,41
	Oportunidades Intervenidas (matriz de viajes)	0,40
	Oportunidades Intervenidas (matriz de carga)	0,42
Formulaciones Sintéticas	Programación Lineal (matriz de viajes)	0,38
	Programación Lineal (matriz de carga)	0,89
Viajes en Vacío	Noortman Van Es	0,63

Fuente: Elaboración Propia

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Esta investigación ayuda a iniciar el estudio de modelos de transporte de carga urbana aplicados al entorno colombiano e identifica modelos que no son recomendables aplicar para caracterizar la demanda de carga en el país.

- Se identifica que para la generación y atracción de transporte de carga urbano se deben utilizar regresiones multivariables. Sin embargo, es necesario que el Distrito Capital cuente con una mayor base de indicadores económicos, urbanos, demográficos, de flota, entre otros, para identificar mejores variables explicativas de los viajes y las toneladas de carga.

- En cuanto a los modelos estudiados en el paso de Distribución, los cuatro modelos se encuentran dentro del mismo rango de correlación y no sobresale ninguno sobre el otro. A pesar de que el modelo Fratar arrojó coeficientes de determinación de 0,52 para distribución de viajes y de que el modelo de programación lineal arrojó un r^2 de 0,88 para distribución de carga, los mencionados resultados sobresalieron debido a particularidades de la información con la que se contó, y no indican necesariamente que dichos modelos son los más recomendables de aplicar para la distribución de viajes y de carga.

- La mayoría de los modelos de transporte de carga que se aplicaron demostraron que son recomendables para que sean utilizados en la ciudad capital.

- Entre los modelos estudiados y aplicados en el paso de Atracción- Generación, los modelos de regresión lineal demostraron tener una mejor correlación que los modelos de factores de crecimiento. En este sentido, se sugiere priorizar los modelos de regresión lineal sobre los modelos de factores de crecimiento utilizando las variables estudiadas en este trabajo de investigación.

- Los factores de crecimiento para proyectar viajes o carga origen y destino estudiados, no arrojaron correlaciones satisfactorias, a excepción de los factores de crecimiento basados en área comercial y de bodegas para destino de viajes.

- Las regresiones multivariables demostraron explicar adecuadamente los viajes y la carga de atracción-generación. Esto demuestra que el transporte de carga urbano es un sector complejo que depende de varios factores, y que por lo tanto su complejidad puede ser explicada por la vinculación de las variables aquí estudiadas.

- El modelo de gravedad con factores de impedancia basados en costos son más recomendables que los basados en distancia para determinar la distribución de viajes y de carga en el entorno urbano.

- El modelo de "*Noortman Van Es*" es recomendable para hallar viajes en vacío y demuestra que aún la logística urbana en Bogotá se puede caracterizar con modelos como este que no consideran la selección de destinos adicionales al primer viaje.

- Tanto la política como la modelación del transporte de carga urbano en Colombia aún están en una etapa de maduración. Por lo tanto, se requiere de la participación tanto de las entidades nacionales y territoriales del estado, como de las instituciones universitarias, para impulsar su desarrollo a una etapa que permita planear la logística urbana de forma que sea más competitiva y cause menores externalidades negativas a las ciudades. Al igual, es importante que el sector privado participe en el desarrollo de políticas y en las investigaciones de modelación, más aún si se tiene en cuenta que éste posee la mayor parte de

información útil para el estudio de la carga a nivel urbano. Actualmente, esta información estratégica se suministra parcialmente por considerarla confidencial o de interés particular.

- En el transporte de carga Bogotano también existen diferencias entre el análisis de viajes de vehículos y de carga movilizada. Esto confirma la tesis de (Holguin-Veras, Jaller, Destro, Ban, Lawson, & Levinson, 2011), la cual establece que la carga (las toneladas movilizadas) es determinada por la economía del consumo y la producción, y los viajes de vehículos de carga son el resultado de una decisión logística de las empresas de transporte de carga.

- Se encuentran limitantes para aplicar en Bogotá los diversos modelos de transporte de carga que se han desarrollado a nivel internacional. La principal limitante consiste en la información, ya que esta no se encuentra actualizada y tampoco a un nivel suficientemente desagregado para analizar la distribución de viajes y de carga.

- A pesar de que en la estudio del estado del arte de los modelos de transporte se indica que los modelos propuestos para el transporte de carga difieren al tradicional modelo de cuatro pasos, se halló que los modelos de transporte de carga siguen el esquema de cuatro pasos con ciertas variaciones, como el paso adicional que identifica los viajes en vacío cuando la modelación está basada en volúmenes de carga. Asimismo, los modelos de transporte de carga en los pasos de demanda también se utilizan en la modelación de pasajeros, sin embargo, los datos de entrada para alimentar estos modelos es donde radica la diferencia.

- El modelo de *toures* de carga es el único modelo que se diferencia al tradicional esquema de cuatro pasos. Para utilizar este modelo es necesario que en la recolección de información se realice una toma de información de las diferentes paradas que realiza un vehículo de carga en su *tour*. La información a recolectar necesita alto nivel de detalle, lo cual incrementa los costos de los estudios, sin embargo, este costo se compensa con la valiosa información que se recolecta

para alimentar un modelo que si se desarrolla adecuadamente puede arrojar resultados que en el tradicional esquema de cuatro pasos no se obtienen.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda a tanto a las grandes ciudades como a las intermedias incluir dentro de sus planes de movilidad la caracterización y diagnóstico del transporte de carga a nivel urbano de sus territorios y los proyectos de infraestructura y logística operacional para organizar y garantizar que la recolección y distribución de bienes y servicios en la ciudad sea más eficiente.

- Se recomienda a las instituciones universitarias colombianas promover dentro de las facultades competentes la investigación en el estudio del transporte de carga urbano, especialmente en la modelación del mismo, para garantizar modelos calibrados a la realidad de las ciudades colombianas.

- Se recomienda para futuras investigaciones desarrollar los pasos correspondientes a la oferta de carga urbana, es decir los pasos de reparto modal y asignación. Esto con el fin de complementar este estudio investigativo.

- Se recomienda para futuros estudios analizar el modelo de *toures* de carga en las ciudades colombianas. Este modelo se considera el apropiado para caracterizar y proyectar el comportamiento del transporte de carga dado que analiza detalladamente la cadena de viajes de este sector.

- Se recomienda al Distrito de Bogotá identificar un mayor número de variables económicas a nivel de UPZ, esto con el propósito de facilitar futuras estudios de proyecciones de carga a nivel urbano. De esta forma, es posible analizar factores de crecimiento basados en variables económicas como inversión, Producto Interno Bruto, construcción, etc.

- Se recomienda que las entidades de planeación y de movilidad del Distrito Capital, actualicen y realicen proyecciones de las variables aplicadas en el modelo de regresión de este documento investigativo, y que al igual tomen en cuenta las variables recomendadas en el estudio de Sistemas de Indicadores Logísticos para Centros Urbanos del DNP, para que sean actualizadas a un nivel de UPZ y así puedan ser aprovechadas en la modelación de transporte de carga urbano.

- Se recomienda estudiar para el modelo de gravedad variables de la función de impedancia para el entorno urbano, diferentes a las aquí estudiadas.

- A pesar de que los modelos de Demanda Directa han sido utilizados principalmente para estudiar la carga en corredores locales, se recomienda investigar este modelo en las ciudades colombianas, dado que la información de entrada que requiere es factible de obtener y su aplicación no requiere de programas de modelación complejos.

- Los viajes en vacío de las ciudades colombianas no se han estudiado y se consideran pertinentes de analizar dado que son un buen indicador de la eficiencia operacional de la logística urbana. En este sentido, es recomendable que se investiguen los diversos modelos que existen y asimismo su relación con la eficiencia operacional.

Bibliografía

Alcaldía Distrital de Bogotá. (30 de 07 de 2013). *Número de Matriculas Activas de Establecimientos para Bogotá, por Localidad y UPZ 2008-2012 (Con corte a Junio 30 de 2013)*. Recuperado el 27 de 10 de 2013, de Secretaría Distrital de Planeación: http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/Informaci%F3nTomaDecisiones/Estadisticas/InformacionPrimaria

Anderson, S., Allen, J., & & Browne, M. (2005). *Urban Logistics How Can It Meet Policy Oriented Modelling.* Londres: Journal of Transport Geografy.

CAF. (2012). *Logística Urbana.* Montevideo: CAF.

Cámara de Comercio de Bogotá . (2010). *Reporte Anual de Movilidad,2009.* Bogotá.

Cambridge Systematics INC; Comsis Corporation; University of Wisconsin-Milwaukee. (1996). *Quick Response Freight Manual.*

CONPES. (2008). *Política Nacional Logística 3547.* Bogotá: Conpes.

De Jong, G., Gunn, H., & Walker, W. (2004). National and International Freight Transport Models: Overview and Ideas for Further Development. *Transport Reviews*, 103-124.

Departamento Administrativo de Planeación Distrital. (2000). *Ordenamiento de Transporte de Carga para el Distrito Capital Fase I.* Bogotá: Departamento Administrativo de Planeación Distrital.

Departamento Nacional de Planeación. (2009). *Planes Urbanos Logísticos para la Gestión de Carga.* Bogotá: DNP.

Departamento Nacional de Planeación. (2013). *Estructurar una Herramienta que Permita Capturar, Analizar, y Difundir la Información de Manejo de la Carga en los Principales Centros Urbanos del País y Formular un Modelo Cuantitativo que Facilite la Toma Eficiente de Decisiones en Materia de Polí.* Bogotá.

Europe Union. (s.f.). *Astra Model*. Recuperado el 9 de Febrero de 2014, de http://www.astra-model.eu

Federal Highway Administration. (2007). *Quick Response Freight Manual II.*

Gouvea, V., & De Melo, I. (2004). Análisis de la Demanda de Transporte de Carga en Área Urbana bajo el Punto de Vista de la Producción y de la Atracción de Viajes.

Holguín-Veras, J., & Thorson, E. (2003). Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 129-148.

Holguín-Veras, J., Jaller, M., Destro, L., & Levinson, H. (2011). Freight Generation, Freight Trip Generation, and The Perils of Using Constant Trip Rates. *Journal of the Transportation Research Board*, 69-81.

Holguin-Veras, J., Jaller, M., Destro, L., Ban, X., Lawson, C., & Levinson, H. (2011). Freight Generation, Freight Trip Generation, and The Perils of Using Constant Trip Rates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 68-81.

Holguín-Veras, J., List, G. F., Meyburg, A. H., Ozbay, K., Paaswell, R. E., Teng, H., y otros. (2001). *An Assessment of Methodological Alternatives for a Regional Freight Model in the NYMTC Region.* New York: New York Metropolitan Transportation Council.

Holguín-Veras, J., List, G., & Meyburg, A. (2001). *An Assessment of Methodological alternatives For a Regional Freight Model in the NYMTC Region.*

Horowitz, A. J., & Melendez, W. J. (2010). *The Transshipment Problem in Travel Forecasting: Tour Structures Model.* Milwaukee: University of Wisconsin.

Hunt, J. D., & Stefan, K. (2007). Tour-based microsimulation of urban commercial movements. *Transportation Research Part B: Methodological*, 981-1013.

Hutchinson, B. (1974). *Principles of Urban Transport Systems Planning.* Washington D.C: McGraw-Hill Book Company.

IIT Bombay. (2006). *Class Notes.*

Jonnavithula, S. (2004). *Development of structural equations models of statewide freight flows.* University of South Florida.

Jonnavithula, S. (2004). *Development of Structural Equations Models of Statewide Freiht Flows.* University of South Florida.

Marcário, R., Galelo, A., & Martins, P. M. (2008). *Business models in urban logistics.*

Menoyo, E. H. (2006). *La Logística urbana: conceptos básicos y proposiciones.*

NCFRP. (2010). *Freight Demand Modeling to Support Public Sector Decision Making.* Washington D.C: Cambridge Systematics Inc; Cambridge MA; GeoStats; Atlanta.

NCFRP;NCHRP. (2012). *Freight Trip Generation and Land Use.*

Ortuzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2001). *Modelling Transport.* Chichester, England: John Wiley & Sons, LTD.

Paramahamsan, H. (1999). *Fundamental properties of Synthetic O-D Generation Formulations and Solutions.*

Rhodes, S., Berndt, M., Bingham, P., Bryan, J., Cherrett, T., Plumeau, P., y otros. (2012). *Guidebook for Understanding Urban Goods Movements.* Washington: Transportation Research Board.

Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá. (2006). *Plan Maestro de Movilidad para Bogotá D.C.* Bogotá: Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá.

Secretaría Distrital de Movilidad. (2008). *Estudio Centro de Actividades Logísticas de Carga de Bogotá (CALCAB).* Bogotá: Secretaría Distrital de Movilidad.

Secretaría Distrital de Movilidad. (2010). *Estudio para determinar la matriz origen destino de carga y desarrollo de acciones para la regulación de la logística de carga interna en la ciudad.* Bogotá D.C: Secretaría Distrital de Movilidad.

Secretaría Distrital de Planeación. (2009). *Conociendo la Localidad de los Mártires: Diagnóstico de los Aspectos Físicos, Demográficos y Socioeconómicos.* Bogotá D.C: Secretaría Distrital de Planeación.

Secretaría Distrital de Planeación. (2011). *21 Monografías de las Localidades.* Bogotá D.C: Secretaría Distrital de Planeación.

Sharma, G., Abbas, S., & Kumar, V. (2012). SOLVING TRANSPORTATION PROBLEM WITH THE VARIOUS METHOD OF LINEAR PROGRAMMING PROBLEM. *Asian Journal of Current Engineering and Maths*, 81-83.

Sharma, J. (1977). *Extensions and Special Cases of Transportation Problem: A Survey.*

Snickars, F., & Wibull, J. (1977). A minimum Information Principle Theory and Practice. *Regional Science and Urban Economics*, 137-168.

Srivastava, A. (s.f.). *Tour Based Freight Modeling.*

Transport Research Board. (2006). *Freight Demand Modeling Tools for Public-Sector Decision MAking.* Washington D.C.

Universidad de Los Andes. (2013). *Logística de Carga e Impactos Sobre el Tráfico de Bogotá. Caracterización Sector Bebidas.* Bogotá.

Valencia, A. M. (2006). *Formulación de Políticas de ordenamiento Territorial y Manejo Logístico para el Transporte de Carga.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

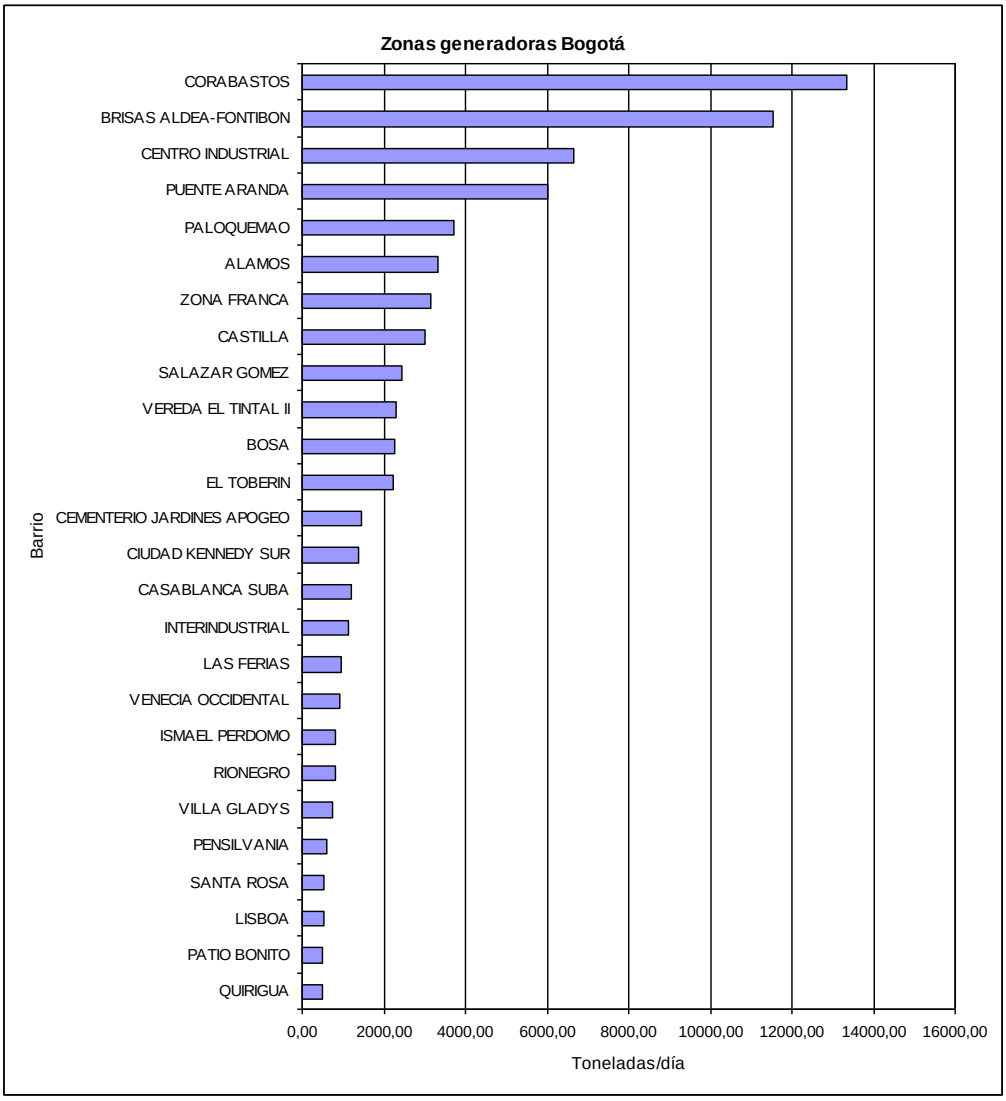
WBCSD. (2004). *Mobility 2030.* WBCSD.

Yang, J. (s.f.). *Tour-Based Microsimulation Model in Calgary, Alberta.*

Anexos

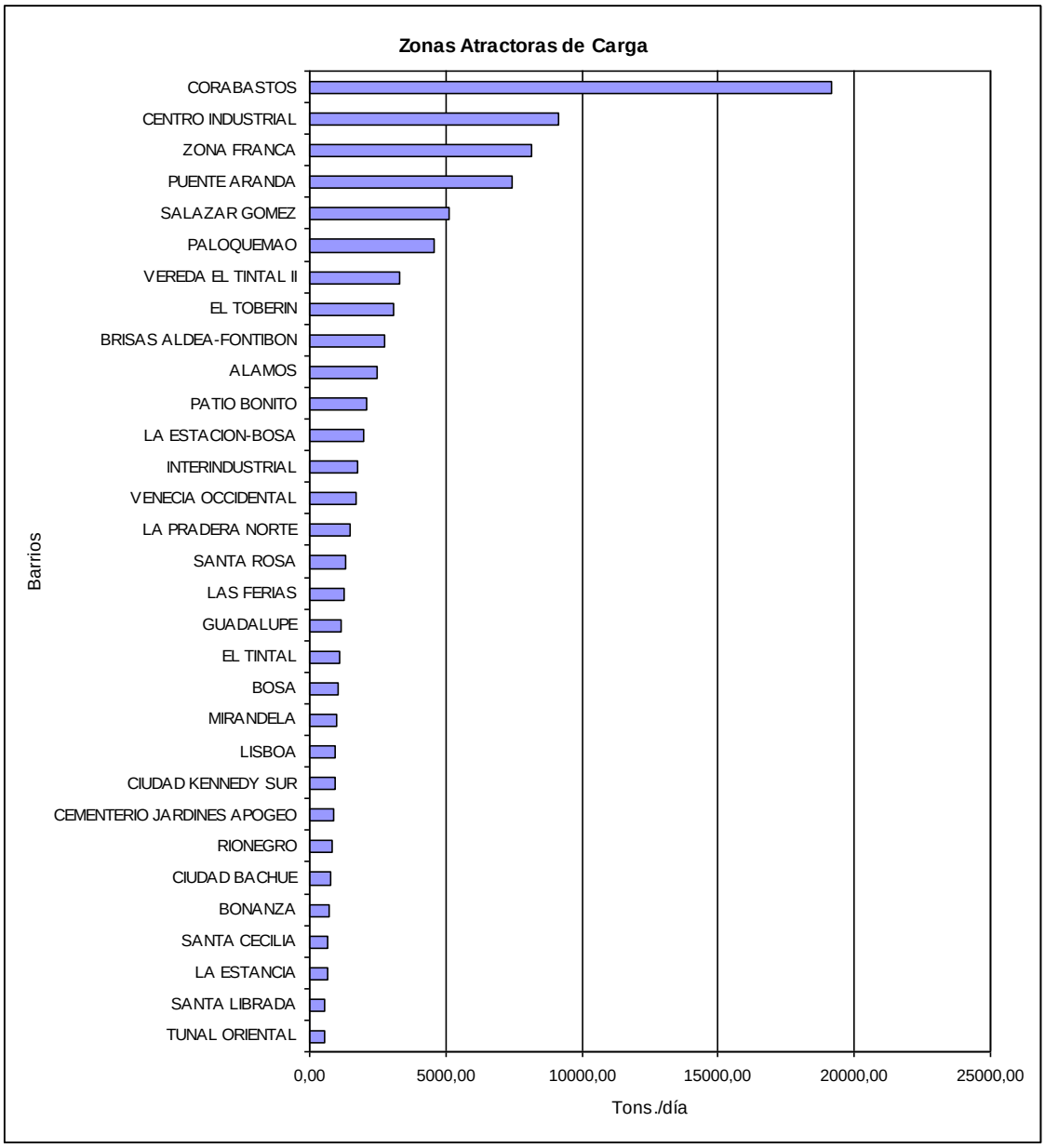
Anexo I. Zonas Generadoras y Atractoras de volúmenes de Carga

Zonas Generadoras de Carga en Bogotá Ton/Día



Fuente: (Secretaría Distrital de Movilidad, 2008)

Zonas Atractoras de Carga en Bogotá Ton/Día



Fuente: (Secretaría Distrital de Movilidad, 2008)

Anexo II. Cálculos Factores de Crecimiento

Modelo Factor de Crecimiento Basado en Crecimiento Histórico-Viajes día

#UPZ	UPZ	viajes origen 2000	viajes destino 2000	viajes origen 2007	FAC viajes origen	viajes destino 2007	FAC viajes destino	viajes origen reales 2010	Viajes Origen FAC 2010	viajes destino reales 2010	Viajes Destino FAC 2010
1	Paseo de los Libertadores	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.4	0.0	21.4	0.0
2	La academia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	6.8	0.0
3	Guaymaral	0.0	0.0	82.8	0.0	9.2	0.0	3.9	0.0	5.3	0.0
9	Verbeneal	0.0	0.0	1.9	0.0	12.5	0.0	23.3	0.0	16.6	0.0
10	La uribe	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	108.2	0.0	27.1	0.0
11	San Cristobal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.8	0.0	32.8	0.0
12	Toberin	85.5	557.1	2.4	0.6	30.2	0.7	43.9	0.5	25.9	8.6
13	Los Cedros	4.2	34.5	0.0	0.0	5.7	0.8	78.9	0.0	66.9	2.6
14	Usaquen	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.3	0.0	110.7	0.0
15	Country Club	3.1	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	10.1	0.0	28.3	0.0
16	Santa Barbara	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.6	0.0	61.1	0.0
17	San jose de Bavaria	194.5	159.2	3.5	0.6	0.0	0.0	19.7	0.6	22.9	0.0
18	Britalia	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	45.0	0.0	44.1	0.0
19	El prado	54.1	0.0	4.8	0.7	5.1	0.0	20.2	1.7	34.8	0.0
20	Alhambra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.7	0.0	31.9	0.0
21	Los Andes	46.1	0.0	7.8	0.8	15.7	0.0	29.8	3.6	26.8	0.0
22	12 de Octubre	43.2	62.6	0.5	0.5	5.4	0.7	55.6	0.1	51.7	1.9
23	casa blanca suba	234.0	0.0	3.4	0.5	5.1	0.0	44.6	0.6	33.0	0.0
24	Niza	59.6	34.1	0.0	0.0	0.0	0.0	143.4	0.0	185.3	0.0
25	La Floresta	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	49.7	0.0	76.0	0.0
26	Las Ferias	201.2	181.6	6.3	0.6	4.0	0.6	94.9	1.4	120.5	0.8
27	Suba	16.8	149.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.6	0.0	54.7	0.0
28	El Rincón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	0.0	25.2	0.0
29	Minuto de Dios	594.0	53.5	1.7	0.4	3.4	0.7	14.3	0.1	28.8	1.0
30	Boyaca Real	98.5	46.0	4.8	0.6	5.8	0.7	62.8	1.3	110.2	2.4
31	Santa Cecilia	94.5	125.0	0.0	0.0	7.4	0.7	31.6	0.0	55.1	2.2
32	San Blas	165.1	55.4	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	31.3	0.0
33	Sosiego	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1	0.0	34.2	0.0
34	20 de Julio	42.3	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	24.9	0.0	28.8	0.0
35	Ciudad Jardín	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7	0.0	21.4	0.0
36	San José	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	16.6	0.0	30.7	0.0
37	Santa Isabel	52.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5	0.0	128.5	0.0
38	Restrepo	50.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.7	0.0	79.2	0.0
39	Quiroga	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.4	0.0	68.3	0.0
40	Ciudad Montes	106.9	0.0	23.1	0.8	11.1	0.0	89.0	12.0	53.1	0.0
41	Muzu	125.1	31.1	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4	0.0	11.2	0.0
42	Venecia	497.6	585.6	15.1	0.6	5.4	0.5	49.0	3.4	44.6	0.7
43	San Rafael	225.9	37.7	7.6	0.6	8.2	0.8	121.4	1.8	67.9	4.3
44	Americas	12.9	0.0	2.7	0.8	0.0	0.0	85.1	1.4	46.2	0.0
45	Carvajal	132.4	140.4	0.0	0.0	0.0	0.0	92.8	0.0	44.4	0.0
46	Castilla	82.0	1.5	4.2	0.7	0.0	0.0	76.0	1.2	112.8	0.0
47	Kennedy Central	1217.4	2377.0	5.8	0.5	4.8	0.4	101.2	0.6	80.7	0.3
48	Timiza	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	0.0	13.7	0.0
49	Apogeo	1.9	0.0	10.1	1.3	0.0	0.0	14.7	21.0	6.6	0.0
50	La Gloria	11.0	82.9	0.0	0.0	3.1	0.6	12.8	0.0	19.7	0.8
51	Los Libertadores	9.5	91.2	2.4	0.8	0.0	0.0	1.7	1.3	7.8	0.0
52	La flora	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	3.9	0.0
53	Marco Fidel Suarez	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	19.0	0.0
54	Marruecos	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.9	0.0	16.9	0.0
55	Diana Turbay	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	12.9	0.0
56	Danubio	7.7	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	7.0	0.0
57	Gran Yomasa	9.5	23.3	9.6	1.0	0.0	0.0	23.7	9.7	14.0	0.0

#UPZ	UPZ	viajes origen 2000	viajes destino 2000	viajes origen 2007	FAC viajes origen	viajes destino 2007	FAC viajes destino	viajes origen reales 2010	Viajes Origen FAC 2010	viajes destino reales 2010	Viajes Destino FAC 2010
58	Comuneros	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.8	0.0	6.8	0.0
59	Alfonso Lopez	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	3.0	0.0
60	Diana Turbay	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
61	Ciudad Usme	14.1	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	6.3	0.0
62	Tunjuelito	149.4	79.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.1	0.0	39.3	0.0
63	El mochuelo	20.0	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.7	0.0
64	Monte Blanco	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.7	0.0
65	Arborizadora	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	0.0	11.5	0.0
66	San Francisco	0.0	0.0	26.4	0.0	8.2	0.0	24.6	0.0	20.9	0.0
67	Lucero	27.9	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	14.5	0.0	7.6	0.0
68	El tesoro	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	5.5	0.0
69	Ismael Perdomo	15.5	33.4	51.6	1.2	50.3	1.1		86.4	16.4	60.0
70	Jerusalen	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.4	0.0	12.6	0.0
71	Tibabuyes	13.6	0.0	2.7	0.8	0.0	0.0	5.6	1.4	48.7	0.0
72	Bolivia	84.2	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	0.0	16.3	0.0
73	Garces Navas	302.6	262.7	12.7	0.6	22.2	0.7	21.0	3.3	36.5	7.7
74	Engativa	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	0.0	29.9	0.0
75	Fontibon	953.8	1127.5	2.7	0.4	32.8	0.6	91.7	0.2	137.2	7.2
76	Fontibon San Pablo	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	20.9	0.0	41.5	0.0
77	Zona Franca	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	66.4	0.0	94.3	0.0
78	Tintal Norte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	20.5	0.0
79	Clandaima	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	0.0	25.0	0.0
80	Corabastos	0.0	0.0	17.9	0.0	50.4	0.0	45.1	0.0	50.1	0.0
81	Gran Britalia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	6.7	0.0
82	Patio Bonito	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	19.6	0.0	30.8	0.0
83	Las margaritas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.5	0.0
84	Bosa Occidental	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	4.7	0.0
85	Bosa Central	267.6	150.4	2.7	0.5	3.4	0.6	30.0	0.4	37.9	0.7
86	El porvenir	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
87	Tintal Sur	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	1.5	0.0
88	El refugio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.2	0.0	91.2	0.0
89	San isidro Patios	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	0.0	11.2	0.0
90	Pardo Rubio	141.7	91.2	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	0.0	31.8	0.0
91	Sagrado Corazon	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.0	0.0	44.8	0.0
92	La macarena	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	12.0	0.0
93	Las nieves	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	116.1	0.0	98.9	0.0
94	Candelaria	500.2	653.6	0.0	0.0	1.9	0.4	65.9	0.0	41.6	0.2
95	Las cruces	7.1	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	22.6	0.0
96	La Candelaria	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	0.0	18.3	0.0
97	Chico Lago	57.2	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	123.1	0.0	66.8	0.0
98	Los Alcazares	71.6	85.6	0.0	0.0	0.0	0.0	312.6	0.0	175.2	0.0
99	Chapinero	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.6	0.0	33.5	0.0
100	Galerias	7.1	83.6	0.0	0.0	3.4	0.6	43.4	0.0	41.9	0.8
101	Teusaquillo	93.1	137.1	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0	0.0	33.1	0.0
102	La sabana	355.0	279.0	60.0	0.8	44.2	0.8	374.9	28.0	384.9	20.0
103	Parque Salitre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	3.2	0.0
104	Parque Simón Bolivar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.2	0.0	22.8	0.0
105	Jardín Botanico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.7	0.0	7.9	0.0
106	La esmeralda	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	0.0	16.6	0.0
107	Quinta Paredes	102.5	363.2	0.0	0.0	0.0	0.0	28.8	0.0	19.0	0.0
108	Zona Industrial	394.4	237.1	0.0	0.0	5.7	0.6	169.8	0.0	155.5	1.1
109	Ciudad Salitre Oriental	90.0	220.2	0.0	0.0	0.0	0.0	24.3	0.0	19.1	0.0
110	Ciudad Salitre Occidental	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.3	0.0	21.6	0.0
111	Puente Aranda	1090.6	542.4	3.5	0.4	20.7	0.6	193.8	0.3	146.0	5.1
112	Granjas de Techo	0.0	0.0	2.7	0.0	3.7	0.0	131.8	0.0	131.4	0.0
113	Bavaria	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	103.3	0.0	177.1	0.0
114	Modelia	45.6	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	122.5	0.0	139.9	0.0
115	Capellanía	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.5	0.0	19.1	0.0
116	Alamos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.5	0.0	22.2	0.0

#UPZ	UPZ	viajes origen 2000	viajes destino 2000	viajes origen 2007	FAC viajes origen	viajes destino 2007	FAC viajes destino	viajes origen reales 2010	Viajes Origen FAC 2010	viajes destino reales 2010	Viajes Destino FAC 2010
117	Aeropuerto el Dorado	377.5	59.3	0.0	0.0	0.0	0.0	53.4	0.0	87.1	0.0

Fuente: Elaboración Propia Basado en Secretaría Distrital de Planeación y Secretaría Distrital de Movilidad

Tabla Modelo Factor de Crecimiento Basado en Crecimiento de Población-Viajes día

# UPZ	NOM_UPZ	Tasa de Crecimiento Anual población	viajes origen 2007	viajes destino 2007	viajes origen 2010 reales	Viajes Origen FC 2010	viajes destino 2010 reales	Viajes Destino FC 2010
1	Paseo de los Libertadores	0.00986	0.0	0.0	22.4	0.0	21.4	0.0
2	La Academia	0.00949	0.0	0.0	11.0	0.0	6.8	0.0
3	Guaymaral	0.01006	82.8	9.2		85.3	5.3	9.5
9	Verbenal	0.01032	1.9	12.5	23.3	1.9	16.6	12.9
10	La Uribe	0.01019	0.0	0.0	108.2	0.0	27.1	0.0
11	San Cristóbal Norte	0.01009	0.0	0.0	38.8	0.0	32.8	0.0
12	Toberín	0.01005	2.4	30.2	43.9	2.5		31.1
13	Los Cedros	0.01004	0.0	5.7	78.9	0.0	66.9	5.9
14	Usaquén	0.01011	0.0	0.0	85.3	0.0	110.7	0.0
15	Country Club	0.00999	0.0	1.7	10.1	0.0	28.3	1.8
16	Santa Bárbara	0.00995	0.0	0.0	61.6	0.0	61.1	0.0
17	San José de Bavaria	0.01010	3.5	0.0	19.7	3.6	22.9	0.0
18	Britalia	0.01033	3.4	0.0	45.0	3.5	44.1	0.0
19	El Prado	0.01004	4.8	5.1	20.2	5.0	34.8	5.2
20	La Alhambra	0.00985	0.0	0.0	32.7	0.0	31.9	0.0
21	Los Andes	0.01003	7.8	15.7	29.8	8.0	26.8	16.2
22	Doce de Octubre	0.01009	0.5	5.4	55.6	0.5	51.7	5.6
23	Casa Blanca Suba	0.01038	3.4	5.1	44.6	3.5	33.0	5.3
24	Niza	0.00992	0.0	0.0	143.4	0.0	185.3	0.0
25	La Floresta	0.00984	7.4	0.0	49.7	7.6	76.0	0.0
26	Las Ferias	0.01003	6.3	4.0	94.9	6.5	120.5	4.1
27	Suba	0.01040	0.0	0.0	24.6	0.0	54.7	0.0
28	El Rincón	0.01029	0.0	0.0	11.9	0.0	25.2	0.0
29	Minuto de Dios	0.01010	1.7	3.4	14.3	1.8	28.8	3.5
30	Boyacá Real	0.00987	4.8	5.8	62.8	5.0	110.2	6.0
31	Santa Cecilia	0.00990	0.0	7.4	31.6	0.0	55.1	7.6
32	San Blas	0.01004	0.0	0.0	8.5	0.0	31.3	0.0
33	Sosiego	0.01008	0.0	0.0	23.1	0.0	34.2	0.0
34	20 de Julio	0.00990	0.0	0.0	24.9	0.0	28.8	0.0
35	Ciudad Jardín	0.00999	0.0	0.0	10.7	0.0	21.4	0.0
36	San José	0.00994	0.8	0.0	16.6	0.8	30.7	0.0
37	Santa Isabel	0.01003	0.0	0.0	47.5	0.0	128.5	0.0
38	Restrepo	0.01003	0.0	0.0	76.7	0.0	79.2	0.0
39	Quiroga	0.00981	0.0	0.0	79.4	0.0	68.3	0.0
40	Ciudad Montes	0.01007	23.1	11.1	89.0	23.8	53.1	11.5
41	Muzú	0.00992	0.0	0.0	24.4	0.0	11.2	0.0
42	Venecia	0.01000	15.1	5.4	49.0	15.6	44.6	5.5
43	San Rafael	0.00997	7.6	8.2	121.4	7.9	67.9	8.5
44	Américas	0.00999	2.7	0.0	85.1	2.8	46.2	0.0
45	Carvajal	0.00976	0.0	0.0	92.8	0.0	44.4	0.0
46	Castilla	0.01030	4.2	0.0	76.0	4.3	112.8	0.0
47	Kennedy Central	0.00970	5.8	4.8	101.2	6.0	80.7	5.0
48	Timiza	0.01002	0.0	0.0	36.5	0.0	13.7	0.0
49	Apogeo	0.00982	10.1	0.0	14.7	10.4	6.6	0.0
50	La Gloria	0.00997	0.0	3.1	12.8	0.0	19.7	3.2
51	Los Libertadores	0.01004	2.4	0.0	1.7	2.5	7.8	0.0
52	La Flora	0.01031	0.0	0.0	0.7	0.0	3.9	0.0
53	Marco Fidel Suárez	0.00990	0.0	0.0	11.6	0.0	19.0	0.0
54	Marruecos	0.01019	0.0	0.0	15.9	0.0	16.9	0.0
55	Diana Turbay	0.01011	0.0	0.0	5.3	0.0	12.9	0.0

# UPZ	NOM_UPZ	Tasa de Crecimiento Anual población	viajes origen 2007	viajes destino 2007	viajes origen 2010 reales	Viajes Origen FC 2010	viajes destino 2010 reales	Viajes Destino FC 2010
56	Danubio	0.01052	0.0	0.0	7.8	0.0	7.0	0.0
57	Gran Yomasa	0.01028	9.6	0.0	23.7	9.9	14.0	0.0
58	Comuneros	0.01034	0.0	0.0	13.8	0.0	6.8	0.0
59	Alfonso López	0.01081	0.0	0.0	1.2	0.0	3.0	0.0
60	Parque Entrenubes	0.01057	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
61	Ciudad Usme	0.01044	0.0	0.0	5.0	0.0	6.3	0.0
62	Tunjuelito	0.00998	0.0	0.0	32.1	0.0	39.3	0.0
63	El Mochuelo	0.01050	0.0	0.0	0.4	0.0	0.7	0.0
64	Monte Blanco	0.01076	0.0	0.0	0.3	0.0	0.7	0.0
65	Arborizadora	0.01009	0.0	0.0	17.5	0.0	11.5	0.0
66	San Francisco	0.01004	26.4	8.2	24.6	27.3	20.9	8.5
67	Lucero	0.01016	0.0	1.6	14.5	0.0	7.6	1.6
68	El Tesoro	0.01019	0.0	0.0	5.3	0.0	5.5	0.0
69	Ismael Perdomo	0.01026	51.6	50.3		53.2		51.9
70	Jerusalén	0.01029	0.0	0.0	20.4	0.0	12.6	0.0
71	Tibabuyes	0.01038	2.7	0.0	5.6	2.8	48.7	0.0
72	Bolivia	0.01012	0.0	0.0	8.1	0.0	16.3	0.0
73	Garcés Navas	0.01025	12.7	22.2	21.0	13.1		22.8
74	Engativá	0.01027	0.0	0.0	8.1	0.0	29.9	0.0
75	Fontibón	0.01014	2.7	32.8	91.7	2.8	137.2	33.8
76	Fontibón San Pablo	0.01018	0.6	0.0	20.9	0.6	41.5	0.0
77	Zona Franca	0.01054	2.7	0.0	66.4	2.8	94.3	0.0
78	Tintal Norte	0.01162	0.0	0.0	5.8	0.0	20.5	0.0
79	Calandaima	0.01047	0.0	0.0	18.3	0.0	25.0	0.0
80	Corabastos	0.01026	17.9	50.4	45.1	18.5	50.1	52.0
81	Gran Britalia	0.00992	0.0	0.0	6.6	0.0	6.7	0.0
82	Patio Bonito	0.01019	0.0	6.5	19.6	0.0	30.8	6.7
83	Las Margaritas	0.01040	0.0	0.0	1.0	0.0	1.5	0.0
84	Bosa Occidental	0.01024	0.0	0.0	7.1	0.0	4.7	0.0
85	Bosa Central	0.01015	2.7	3.4	30.0	2.8	37.9	3.5
86	El Porvenir	0.01035	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
87	Tintal Sur	0.01125	0.0	0.0	2.2	0.0	1.5	0.0
88	El Refugio	0.01004	0.0	0.0	71.2	0.0	91.2	0.0
89	San Isidro Patios	0.01041	0.0	0.0	8.9	0.0	11.2	0.0
90	Pardo Rubio	0.01019	0.0	0.0	38.0	0.0	31.8	0.0
91	Sagrado Corazón	0.00993	0.0	0.0	52.0	0.0	44.8	0.0
92	La Macarena	0.00996	0.0	0.0	2.4	0.0	12.0	0.0
93	Las Nieves	0.00995	0.0	0.0	116.1	0.0	98.9	0.0
94	La Candelaria	0.01001	0.0	1.9	65.9	0.0	41.6	1.9
95	Las Cruces	0.01005	0.0	0.0	9.2	0.0	22.6	0.0
96	Lourdes	0.01004	0.0	0.0	16.4	0.0	18.3	0.0
97	Chicó Lago	0.00991	0.0	0.0	123.1	0.0	66.8	0.0
98	Los Alcázares	0.01003	0.0	0.0	312.6	0.0	175.2	0.0
99	Chapinero	0.00999	0.0	0.0	52.6	0.0	33.5	0.0
100	Galerías	0.01005	0.0	3.4	43.4	0.0	41.9	3.5
101	Teusaquillo	0.01002	0.0	0.0	55.0	0.0	33.1	0.0
102	La Sabana	0.01004	60.0	44.2	374.9	61.9	384.9	45.5
103	Parque Salitre	0.01022	0.0	0.0	5.0	0.0	3.2	0.0
104	Parque Simón Bolívar – CAN	0.01014	0.0	0.0	29.2	0.0	22.8	0.0
105	Jardín Botánico	0.01011	0.0	0.0	18.7	0.0	7.9	0.0
106	La Esmeralda	0.01000	0.0	0.0	11.5	0.0	16.6	0.0
107	Quinta Paredes	0.01008	0.0	0.0	28.8	0.0	19.0	0.0
108	Zona Industrial	0.00991	0.0	5.7	169.8	0.0	155.5	5.8
109	Ciudad Salitre Oriental	0.01043	0.0	0.0	24.3	0.0	19.1	0.0
110	Ciudad Salitre Occidental	0.01036	0.0	0.0	50.3	0.0	21.6	0.0
111	Puente Aranda	0.01027	3.5	20.7	193.8	3.6		21.4
112	Granjas de Techo	0.01059	2.7	3.7	131.8	2.8	131.4	3.8
113	Bavaria	0.00998	0.0	0.0	103.3	0.0	177.1	0.0
114	Modelia	0.01008	0.0	0.0	122.5	0.0	139.9	0.0
115	Capellanía	0.01018	0.0	0.0	70.5	0.0	19.1	0.0
116	Álamos	0.01021	0.0	0.0	21.5	0.0	22.2	0.0
117	Aeropuerto El Dorado	0.01034	0.0	0.0	53.4	0.0	87.1	0.0

Fuente: Elaboración Propia Basado en Secretaría Distrital de Planeación y Secretaría Distrital de Movilidad

Tabla Modelo Factor de Crecimiento Basado en Crecimiento de Población-Toneladas día

#UPZ	UPZ	Ton/día generadas año 2000	Factor de Crecimiento	Ton/día atraidas año 2000	toneladas generadas 2007 reales	Toneladas Generadas FC 2007	toneladas 122traídas 2007 reales	Toneladas 122traídas FC 2007
1	Paseo de los Libertadores	0	0.0099	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	La academia	0	0.0095	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	guaymaral	0	0.0101	0.0	930.7	0.0	0.0	0.0
9	Verbenal	0	0.0103	0.0	0.0	0.0	73.5	0.0
10	la uribe	0	0.0102	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	san cristobal norte	0	0.0101	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	Toberin	732	0.0100	144.9	24.1	785.5	318.4	155.4
13	Los Cedros	55	0.0100	71.3	0.0	59.1	7.7	76.5
14	Usaquen	0	0.0101	9.6	0.0	0.0	0.0	10.3
15	country club	0	0.0100	4.1	0.0	0.0	22.2	4.4
16	Santa Barbara	0	0.0100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	San Jose de Bavaria	1044	0.0101	691.4	21.4	1120.2	0.0	741.8
18	Britalia	0	0.0103	0.0	30.2	0.0	0.0	0.0
19	El Prado	0	0.0100	170.0	54.4	0.0	61.2	182.3
20	La Alhambrada	0	0.0098	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	Los Andes	0	0.0100	45.8	58.5	0.0	58.1	49.1
22	12 de octubre	150	0.0101	196.6	1.4	161.3	72.9	210.9
23	Casa Blanca Suba	0	0.0104	1167.5	17.0	0.0	102.5	1255.0
24	Niza	54	0.0099	337.2	0.0	58.1	0.0	361.3
25	La Floresta	0	0.0098	0.0	31.7	0.0	0.0	0.0
26	Las Ferias	706	0.0100	1112.1	98.9	757.3	23.5	1192.5
27	Suba	504	0.0104	88.1	0.0	542.3	0.0	94.7
28	El Rincon	0	0.0103	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	Minuto de Dios	646	0.0101	1084.9	13.7	692.9	31.9	1164.0
30	Boyaca Real	15	0.0099	540.7	21.7	16.4	25.7	579.2
31	Santa Cecilia	578	0.0099	414.0	0.0	619.4	31.7	443.5
32	san blas	140	0.0100	1349.0	0.0	149.9	0.0	1446.7
33	Sosiego	0	0.0101	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
34	20 de Julio	2	0.0099	276.2	0.0	1.7	0.0	295.9
35	Ciudad Jardin	0	0.0100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36	San José	0	0.0099	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0
37	Santa Isabel	11	0.0100	200.1	0.0	12.0	0.0	214.6
38	Retrepo	0	0.0100	201.8	0.0	0.0	0.0	216.4
39	Quiroga	0	0.0098	30.4	0.0	0.0	0.0	32.6
40	Ciudad Montes	0	0.0101	327.6	162.1	0.0	163.5	351.4
41	Muzu	114	0.0099	833.3	0.0	121.9	0.0	892.9
42	Venecia	2812	0.0100	2204.0			0.0	2363.0
43	San Rafael	181	0.0100	592.4	50.3	0.0	61.1	635.0
44	Americas	0	0.0100	89.4	24.7	0.0	0.0	95.9
45	Carvajal	772	0.0098	854.3	0.0	0.0	0.0	914.4
46	Castilla	6	0.0103	205.4	91.2	0.0	0.0	220.7
47	Kennedy Central	6330	0.0097	4870.1			21.7	5210.6
48	timiza	0	0.0100	103.0	0.0	0.0	0.0	110.4
49	Apogeo	0	0.0098	0.0	25.5	0.0	0.0	0.0
50	La Gloria	133	0.0100	98.3	0.0	0.0	14.0	105.4
51	Los Libertadores	123	0.0100	89.0	14.5	0.0	0.0	95.5
52	La flora	0	0.0103	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
53	Marco Fidel Suares	0	0.0099	24.7	0.0	0.0	0.0	26.4
54	Marruecos	0	0.0102	22.5	0.0	0.0	0.0	24.1
55	Diana Turbay	0	0.0101	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
56	Danubio	2	0.0105	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
57	Gran Yomasa	14	0.0103	128.1	21.7	0.0	0.0	137.6
58	Comuneros	0	0.0103	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
59	Alfonso Lopez	0	0.0108	30.2	0.0	0.0	0.0	32.6

#UPZ	UPZ	Ton/día generadas año 2000	Factor de Crecimiento	Ton/día atraidas año 2000	toneladas generadas 2007 reales	Toneladas Generadas FC 2007	toneladas 122traídas 2007 reales	Toneladas 122traídas FC 2007
60	Parque entrenubes	0	0.0106	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
61	Ciudad Usme	124	0.0104	98.4	0.0	0.0	0.0	105.8
62	Tunjuelito	263	0.0100	317.5	0.0	0.0	0.0	340.4
63	Mochuelo	8	0.0105	52.5	0.0	0.0	0.0	56.5
64	Monteblanco	0	0.0108	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
65	arborizadora	0	0.0101	17.0	0.0	0.0	0.0	18.3
66	San Francisco	0	0.0100	0.0	102.2	0.0	24.7	0.0
67	Lucero	0	0.0102	293.9	0.0	0.0	14.8	315.4
68	El tesoro	0	0.0102	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
69	Ismael Perdomo	102	0.0103	106.6	252.8	0.0	314.5	114.5
70	Jerusalen	0	0.0103	37.4	0.0	0.0	0.0	40.2
71	Tibabuyes	0	0.0104	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0
72	Bolivia	113	0.0101	198.5	0.0	0.0	0.0	213.0
73	Garces Navas	1772	0.0102	1049.2			54.1	1126.9
74	Engativa	0	0.0103	17.0	0.0	0.0	0.0	18.3
75	Fontibon	7310	0.0101	3643.8			217.9	3910.3
76	Fontibon San Pablo	0	0.0102	0.0	11.2	0.0	0.0	0.0
77	Zona Franca	0	0.0105	0.0	24.7	0.0	0.0	0.0
78	Tintal Norte	0	0.0116	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
79	Calandaima	0	0.0105	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	Corabastos	0	0.0103	0.0	87.8	0.0	269.9	0.0
81	Gran Britalia	0	0.0099	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
82	Patio Bonito	0	0.0102	0.0	0.0	0.0	60.3	0.0
83	Las margaritas	0	0.0104	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
84	Bosa Occidental	0	0.0102	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
85	Bosa Central	1134	0.0101	1055.1	26.1	0.0	30.7	1132.4
86	El porvenir	0	0.0103	51.3	0.0	0.0	0.0	55.1
87	Tintal Sur	0	0.0113	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
88	El Refugio	0	0.0100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
89	San isidro Patios	0	0.0104	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	Pardo Rubio	152	0.0102	477.6	0.0	0.0	0.0	512.8
91	Sagrado Corazon	0	0.0099	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
92	La macarena	0	0.0100	2.7	0.0	0.0	0.0	2.9
93	Las Nieves	0	0.0100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
94	Candelaria	1065	0.0100	2700.5	0.0	0.0	58.0	2895.5
95	Las Cruces	53	0.0101	30.2	0.0	0.0	0.0	32.4
96	Lourdes	0	0.0100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
97	Chico Lago	301	0.0099	238.5	0.0	0.0	0.0	255.5
98	Los Alcazares	193	0.0100	245.7	0.0	0.0	0.0	263.4
99	Chapinero	0	0.0100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100	Galerias	213	0.0101	36.6	0.0	0.0	26.8	39.2
101	Teusaquillo	413	0.0100	279.3	0.0	0.0	0.0	299.5
102	La Sabana	2406	0.0100	1905.0	333.8	0.0	243.1	2042.9
103	Parque Salitre	0	0.0102	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
104	Parque Simón Bolivar	0	0.0101	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
105	Jardín Botanico	0	0.0101	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
106	la esmeralda	0	0.0100	21.0	0.0	0.0	0.0	22.5
107	Quinta Paredes	1243	0.0101	204.4	0.0	0.0	0.0	219.3
108	Zona Industrial	519	0.0099	1550.3	0.0	0.0	62.4	1661.1
109	Ciudad Salitre Oriental	1266	0.0104	361.8	0.0	0.0	0.0	389.1
111	Ciudad Salitre occidental	0	0.0103	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
111	Puente Aranda	2832	0.0103	5449.3			338.3	5853.3
112	Granajas de Techo	0	0.0106	0.0	11.0	0.0	5.0	0.0
113	Bavaria	0	0.0100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
114	modelia	57	0.0101	3193.8	0.0	0.0	0.0	3426.0
115	Capellanía	0	0.0102	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
116	Alamos	0	0.0102	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
117	Aeropuerto el Dorado	33	0.0103	1269.2	0.0	0.0	0.0	1363.9

Fuente: Elaboración Propia Basado en Secretaría Distrital de Planeación y Secretaría Distrital de Movilidad

Tabla Modelo Factor de Crecimiento Basado en Áreas Comerciales y Bodegas-Viajes día

#UPZ	UPZ	FCA	viajes origen 2007	viajes destino 2007	viajes origen 2010	Viajes Origen FC 2010	viajes destino 2010	Viajes Destino FC 2010
1	Paseo de los Libertadores	0.03173	0.0	0.0	22.4	0.0		0.0
2	La academia	#N/A	0.0	0.0	11.0	#N/A		#N/A
3	guaymaral	#N/A	82.8	9.2	3.9	#N/A		#N/A
9	Verbenal	0.00798	1.9	12.5	23.3	1.9		37.8
10	la uribe	0.00672	0.0	0.0	108.2	0.0		0.0
11	san cristobal norte	0.00710	0.0	0.0	38.8	0.0		0.0
12	Toberin	0.00856	2.4	30.2	43.9	2.5	220.5	91.3
13	Los Cedros	0.01338	0.0	5.7	78.9	0.0	174.5	17.4
14	Usaquen	0.01324	0.0	0.0	85.3	0.0		0.0
15	country club	#N/A	0.0	1.7	10.1	#N/A		#N/A
16	Santa Barbara	0.00800	0.0	0.0	61.6	0.0		0.0
17	San Jose de Bavaria	0.00503	3.5	0.0	19.7	3.5	21.8	0.0
18	Britalia	0.00811	3.4	0.0	45.0	3.4		0.0
19	El Prado	0.01055	4.8	5.1	20.2	5.0		15.4
20	La Alhambrada	0.01574	0.0	0.0	32.7	0.0		0.0
21	Los Andes	0.01949	7.8	15.7	29.8	8.3		48.1
22	12 de octubre	0.01101	0.5	5.4	55.6	0.5	207.9	16.5
23	Casa Blanca Suba	0.00392	3.4	5.1	44.6	3.4		15.4
24	Niza	0.00785	0.0	0.0	143.4	0.0	3.1	0.0
25	La Floresta	0.00641	7.4	0.0	49.7	7.5		0.0
26	Las Ferias	0.01935	6.3	4.0	94.9	6.7	230.7	12.1
27	Suba	0.00981	0.0	0.0	24.6	0.0	63.7	0.0
28	El Rincon	0.00798	0.0	0.0	11.9	0.0		0.0
29	Minuto de Dios	0.01199	1.7	3.4	14.3	1.8	175.5	10.3
30	Boyaca Real	0.00951	4.8	5.8	62.8	5.0	40.0	17.7
31	Santa Cecilia	0.01072	0.0	7.4	31.6	0.0	130.2	22.4
32	san blas	0.00990	0.0	0.0	8.5	0.0	0.1	0.0
33	Sosiego	0.01099	0.0	0.0	23.1	0.0		0.0
34	20 de Julio	0.01404	0.0	0.0	24.9	0.0	23.5	0.0
35	Ciudad Jardin	0.00592	0.0	0.0	10.7	0.0		0.0
36	San José	0.02119	0.8	0.0	16.6	0.8		0.0
37	Santa Isabel	0.00903	0.0	0.0	47.5	0.0	0.0	0.0
38	Retrepo	0.01736	0.0	0.0	76.7	0.0		0.0
39	Quiroga	0.00855	0.0	0.0	79.4	0.0		0.0
40	Ciudad Montes	0.00929	23.1	11.1	89.0	23.8		33.6
41	Muzu	0.01035	0.0	0.0	24.4	0.0	111.7	0.0
42	Venecia	0.00900	15.1	5.4	49.0	15.5	168.7	16.2
43	San Rafael	0.00904	7.6	8.2	121.4	7.8	25.2	24.9
44	Americas	0.00383	2.7	0.0	85.1	2.8		0.0
45	Carvajal	0.01007	0.0	0.0	92.8	0.0	187.1	0.0
46	Castilla	0.00867	4.2	0.0	76.0	4.3	0.0	0.0
47	Kennedy Central	0.00740	5.8	4.8	101.2	6.0	17.6	14.6
48	timiza	0.01081	0.0	0.0	36.5	0.0		0.0
49	Apogeo	#N/A	10.1	0.0	14.7	#N/A		#N/A
50	La Gloria	#N/A	0.0	3.1	12.8	#N/A	0.8	#N/A
51	Los Libertadores	#N/A	2.4	0.0	1.7	#N/A	7.6	#N/A
52	La flora	#N/A	0.0	0.0	0.7	#N/A		#N/A
53	Marco Fidel Suares	0.00892	0.0	0.0	11.6	0.0		0.0
54	Marruecos	0.01212	0.0	0.0	15.9	0.0		0.0
55	Diana Turbay	0.02208	0.0	0.0	5.3	0.0		0.0
56	Danubio	0.00232	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0
57	Gran Yomasa	0.01634	9.6	0.0	23.7	10.1	84.0	0.0
58	Comuneros	0.01499	0.0	0.0	13.8	0.0		0.0
59	Alfonso Lopez	0.01118	0.0	0.0	1.2	0.0		0.0
60	Parque entrenubes	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A		#N/A
61	Ciudad Usme	#N/A	0.0	0.0	5.0	#N/A	0.0	#N/A
62	Tunjuelito	0.01288	0.0	0.0	32.1	0.0	24.3	0.0
63	Mochuelo	#N/A	0.0	0.0	0.4	#N/A	12.9	#N/A
64	Monteblanco	#N/A	0.0	0.0	0.3	#N/A		#N/A

#UPZ	UPZ	FCA	viajes origen 2007	viajes destino 2007	viajes origen 2010	Viajes Origen FC 2010	viajes destino 2010	Viajes Destino FC 2010
65	arborizadora	0.00813	0.0	0.0	17.5	0.0		0.0
66	San Francisco	0.01844	26.4	8.2	24.6	27.9		25.1
67	Lucero	0.01010	0.0	1.6	14.5	0.0		4.7
68	El tesoro	0.00777	0.0	0.0	5.3	0.0		0.0
69	Ismael Perdomo	#N/A	51.6	50.3	26.1	#N/A	256.5	#N/A
70	Jerusalen	0.01400	0.0	0.0	20.4	0.0		0.0
71	Tibabuyes	0.01324	2.7	0.0	5.6	2.8		0.0
72	Bolivia	#N/A	0.0	0.0	8.1	#N/A	135.5	#N/A
73	Garces Navas	0.01291	12.7	22.2	21.0	13.2	704.3	67.3
74	Engativa	0.01141	0.0	0.0	8.1	0.0		0.0
75	Fontibon	0.00963	2.7	32.8	91.7	2.8		99.4
76	Fontibon San Pablo	0.01366	0.6	0.0	20.9	0.6		0.0
77	Zona Franca	0.00590	2.7	0.0	66.4	2.8		0.0
78	Tintal Norte	0.04812	0.0	0.0	5.8	0.0		0.0
79	Calandaima	#N/A	0.0	0.0	18.3	#N/A		#N/A
80	Corabastos	0.01188	17.9	50.4	45.1	18.5		153.0
81	Gran Britalia	0.01048	0.0	0.0	6.6	0.0		0.0
82	Patio Bonito	0.01118	0.0	6.5	19.6	0.0		19.8
83	Las margaritas	#N/A	0.0	0.0	1.0	#N/A		#N/A
84	Bosa Occidental	0.00565	0.0	0.0	7.1	0.0		0.0
85	Bosa Central	0.00504	2.7	3.4	30.0	2.8	289.3	10.3
86	El porvenir	0.01099	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
87	Tintal Sur	#N/A	0.0	0.0	2.2	#N/A		#N/A
88	El Refugio	0.00730	0.0	0.0	71.2	0.0		0.0
89	San isidro Patios	#N/A	0.0	0.0	8.9	#N/A		#N/A
90	Pardo Rubio	0.02233	0.0	0.0	38.0	0.0	0.0	0.0
91	Sagrado Corazon	0.00771	0.0	0.0	52.0	0.0		0.0
92	La macarena	0.01040	0.0	0.0	2.4	0.0		0.0
93	Las Nieves	0.00325	0.0	0.0	116.1	0.0		0.0
94	Candelaria	#N/A	0.0	1.9	65.9	#N/A	2.6	#N/A
95	Las Cruces	#N/A	0.0	0.0	9.2	#N/A	0.0	#N/A
96	Lourdes	#N/A	0.0	0.0	16.4	#N/A		#N/A
97	Chico Lago	0.00993	0.0	0.0	123.1	0.0	0.0	0.0
98	Los Alcazares	0.00938	0.0	0.0	312.6	0.0	41.1	0.0
99	Chapinero	0.00922	0.0	0.0	52.6	0.0		0.0
100	Galerias	0.00759	0.0	3.4	43.4	0.0	1.7	10.1
101	Teusaquillo	#N/A	0.0	0.0	55.0	#N/A	43.7	#N/A
102	La Sabana	0.02129	60.0	44.2	374.9	64.0	1462.7	135.3
103	Parque Salitre	#N/A	0.0	0.0	5.0	#N/A		#N/A
104	Parque Simón Bolivar	#N/A	0.0	0.0	29.2	#N/A		#N/A
105	Jardín Botanico	#N/A	0.0	0.0	18.7	#N/A		#N/A
106	la esmeralda	0.00846	0.0	0.0	11.5	0.0		0.0
107	Quinta Paredes	0.00636	0.0	0.0	28.8	0.0	0.0	0.0
108	Zona Industrial	0.01287	0.0	5.7	169.8	0.0		17.2
109	Ciudad Salitre Oriental	0.04064	0.0	0.0	24.3	0.0	0.7	0.0
110	Ciudad Salitre Ocidental	#N/A	0.0	0.0	50.3	#N/A		#N/A
111	Puente Aranda	0.00779	3.5	20.7	193.8	3.6	1384.5	62.7
112	Granajas de Techo	0.00345	2.7	3.7	131.8	2.8		11.0
113	Bavaria	0.01490	0.0	0.0	103.3	0.0		0.0
114	modelia	0.01196	0.0	0.0	122.5	0.0	168.3	0.0
115	Capellanía	0.00623	0.0	0.0	70.5	0.0		0.0
116	Alamos	0.00442	0.0	0.0	21.5	0.0		0.0
117	Aeropuerto el Dorado	#N/A	0.0	0.0	53.4	#N/A	1.1	#N/A

Fuente: Elaboración Propia Basado en Secretaría Distrital de Planeación y Secretaría Distrital de Movilidad

Tabla Modelo Factor de Crecimiento Basado en Áreas Comerciales y Bodegas-Toneladas día

#UPZ	UPZ	FCA	Ton/día generadas 2000	Ton/día atraidas 2000	Ton/día generadas reales 2007	ton/dia generada con FC	Ton/día atraidas reales 2007	ton/dia generada con FC
1	Paseo de los Libertadores	0.03173	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

#UPZ	UPZ	FCA	Ton/día generadas 2000	Ton/día atraidas 2000	Ton/día generadas reales 2007	ton/dia generada con FC	Ton/día atraidas reales 2007	ton/dia generada con FC
2	La academia	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
3	guaymaral	#N/A	0.0	0.0	930.7	#N/A	0.0	#N/A
9	Verbenal	0.00798	0.0	0.0	0.0	0.0	73.5	0.0
10	la uribe	0.00672	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	san cristobal norte	0.00710	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	Toberin	0.00856	732.4	144.9	24.1	777.5	318.4	153.8
13	Los Cedros	0.01338	55.1	71.3	0.0	60.5	7.7	78.3
14	Usaquen	0.01324	0.0	9.6	0.0	0.0	0.0	10.5
15	country club	#N/A	0.0	4.1	0.0	#N/A	22.2	#N/A
16	Santa Barbara	0.00800	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	San Jose de Bavaria	0.00503	1044.0	691.4	21.4	1081.3	0.0	716.0
18	Britalia	0.00811	0.0	0.0	30.2	0.0	0.0	0.0
19	El Prado	0.01055	0.0	170.0	54.4	0.0	61.2	182.9
20	La Alhambrada	0.01574	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	Los Andes	0.01949	0.0	45.8	58.5	0.0	58.1	52.4
22	12 de octubre	0.01101	150.3	196.6	1.4	162.3	72.9	212.2
23	Casa Blanca Suba	0.00392	0.0	1167.5	17.0	0.0	102.5	1200.0
24	Niza	0.00785	54.3	337.2	0.0	57.3	0.0	356.2
25	La Floresta	0.00641	0.0	0.0	31.7	0.0	0.0	0.0
26	Las Ferias	0.01935	706.2	1112.1	98.9	807.6	23.5	1271.8
27	Suba	0.00981	504.4	88.1	0.0	540.1	0.0	94.3
28	El Rincon	0.00798	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	Minuto de Dios	0.01199	645.9	1084.9	13.7	702.1	31.9	1179.3
30	Boyaca Real	0.00951	15.3	540.7	21.7	16.3	25.7	577.8
31	Santa Cecilia	0.01072	578.2	414.0	0.0	623.0	31.7	446.1
32	san blas	0.00990	139.8	1349.0	0.0	149.8	0.0	1445.3
33	Sosiego	0.01099	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
34	20 de Julio	0.01404	1.6	276.2	0.0	1.8	0.0	304.5
35	Ciudad Jardin	0.00592	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36	San José	0.02119	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0
37	Santa Isabel	0.00903	11.2	200.1	0.0	11.9	0.0	213.1
38	Retrepo	0.01736	0.0	201.8	0.0	0.0	0.0	227.7
39	Quiroga	0.00855	0.0	30.4	0.0	0.0	0.0	32.3
40	Ciudad Montes	0.00929	0.0	327.6	162.1	0.0	163.5	349.5
41	Muzu	0.01035	113.8	833.3	0.0	122.3	0.0	895.5
42	Venecia	0.00900	2812.3	2204.0	47.3	2994.3	0.0	2346.6
43	San Rafael	0.00904	181.3	592.4	50.3	193.1	61.1	630.9
44	Americas	0.00383	0.0	89.4	24.7	0.0	0.0	91.9
45	Carvajal	0.01007	772.4	854.3	0.0	828.5	0.0	916.3
46	Castilla	0.00867	6.2	205.4	91.2	6.5	0.0	218.2
47	Kennedy Central	0.00740	6330.0	4870.1	25.7	6665.0	21.7	5127.9
48	timiza	0.01081	0.0	103.0	0.0	0.0	0.0	111.0
49	Apogeo	#N/A	0.0	0.0	25.5	#N/A	0.0	#N/A
50	La Gloria	#N/A	132.5	98.3	0.0	#N/A	14.0	#N/A
51	Los Libertadores	#N/A	123.3	89.0	14.5	#N/A	0.0	#N/A
52	La flora	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
53	Marco Fidel Suares	0.00892	0.0	24.7	0.0	0.0	0.0	26.3
54	Marruecos	0.01212	0.0	22.5	0.0	0.0	0.0	24.4
55	Diana Turbay	0.02208	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
56	Danubio	0.00232	2.2	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0
57	Gran Yomasa	0.01634	14.1	128.1	21.7	15.8	0.0	143.5
58	Comuneros	0.01499	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
59	Alfonso Lopez	0.01118	0.0	30.2	0.0	0.0	0.0	32.6
60	Parque entrenubes	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
61	Ciudad Usme	#N/A	124.1	98.4	0.0	#N/A	0.0	#N/A
62	Tunjuelito	0.01288	262.9	317.5	0.0	287.5	0.0	347.3
63	Mochuelo	#N/A	8.5	52.5	0.0	#N/A	0.0	#N/A
64	Monteblanco	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
65	arborizadora	0.00813	0.0	17.0	0.0	0.0	0.0	18.0
66	San Francisco	0.01844	0.0	0.0	102.2	0.0	24.7	0.0

#UPZ	UPZ	FCA	Ton/día generadas 2000	Ton/día atraidas 2000	Ton/día generadas reales 2007	ton/dia generada con FC	Ton/día atraidas reales 2007	ton/dia generada con FC
67	Lucero	0.01010	0.0	293.9	0.0	0.0	14.8	315.3
68	El tesoro	0.00777	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
69	Ismael Perdomo	#N/A	102.0	106.6	252.8	#N/A	314.5	#N/A
70	Jerusalen	0.01400	0.0	37.4	0.0	0.0	0.0	41.2
71	Tibabuyes	0.01324	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0
72	Bolivia	#N/A	112.5	198.5	0.0	#N/A	0.0	#N/A
73	Garces Navas	0.01291	1772.1	1049.2	106.8	1938.6	54.1	1147.8
74	Engativa	0.01141	0.0	17.0	0.0	0.0	0.0	18.4
75	Fontibon	0.00963	7310.0	3643.8	8.2	7817.5	217.9	3896.7
76	Fontibon San Pablo	0.01366	0.0	0.0	11.2	0.0	0.0	0.0
77	Zona Franca	0.00590	0.0	0.0	24.7	0.0	0.0	0.0
78	Tintal Norte	0.04812	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
79	Calandaima	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
80	Corabastos	0.01188	0.0	0.0	87.8	0.0	269.9	0.0
81	Gran Britalia	0.01048	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
82	Patio Bonito	0.01118	0.0	0.0	0.0	0.0	60.3	0.0
83	Las margaritas	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
84	Bosa Occidental	0.00565	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
85	Bosa Central	0.00504	1134.2	1055.1	26.1	1174.8	30.7	1092.9
86	El porvenir	0.01099	0.0	51.3	0.0	0.0	0.0	55.4
87	Tintal Sur	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
88	El Refugio	0.00730	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
89	San isidro Patios	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
90	Pardo Rubio	0.02233	152.1	477.6	0.0	177.5	0.0	557.5
91	Sagrado Corazon	0.00771	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
92	La macarena	0.01040	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	2.9
93	Las Nieves	0.00325	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
94	Candelaria	#N/A	1065.0	2700.5	0.0	#N/A	58.0	#N/A
95	Las Cruces	#N/A	52.8	30.2	0.0	#N/A	0.0	#N/A
96	Lourdes	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
97	Chico Lago	0.00993	301.2	238.5	0.0	322.8	0.0	255.5
98	Los Alcazares	0.00938	192.9	245.7	0.0	205.9	0.0	262.3
99	Chapinero	0.00922	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100	Galerias	0.00759	213.0	36.6	0.0	224.6	26.8	38.5
101	Teusaquillo	#N/A	413.3	279.3	0.0	#N/A	0.0	#N/A
102	La Sabana	0.02129	2405.9	1905.0	333.8	2788.2	243.1	2207.7
103	Parque Salitre	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
104	Parque Simón Bolivar	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
105	Jardín Botanico	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
106	la esmeralda	0.00846	0.0	21.0	0.0	0.0	0.0	22.3
107	Quinta Paredes	0.00636	1242.8	204.4	0.0	1299.2	0.0	213.7
108	Zona Industrial	0.01287	519.3	1550.3	0.0	567.9	62.4	1695.6
109	Ciudad Salitre Oriental	0.04064	1266.3	361.8	0.0	1673.5	0.0	478.2
111	Ciudad Salitre occidental	#N/A	0.0	0.0	0.0	#N/A	0.0	#N/A
111	Puente Aranda	0.00779	2831.6	5449.3	68.0	2989.6	338.3	5753.4
112	Granajas de Techo	0.00345	0.0	0.0	11.0	0.0	5.0	0.0
113	Bavaria	0.01490	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
114	modelia	0.01196	56.7	3193.8	0.0	61.6	0.0	3471.0
115	Capellanía	0.00623	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
116	Alamos	0.00442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
117	Aeropuerto el Dorado	#N/A	32.9	1269.2	0.0	#N/A	0.0	#N/A

Fuente: Elaboración Propia Basado en Secretaría Distrital de Planeación y Secretaría Distrital de Movilidad

Anexo III. VARIABLES REGRESIONES LINEALES

Tabla base de variables dependientes e independientes Regresiones Lineales

#UPZ	I	AO	AC	AB	UO	EI	EC	ES	UC	UB	P	#PI	#PC	EmpC	viajes origen 2010	viajes destino 2010	Ton/día generadas 2007	Ton/día atraidas 2007
1	0.0	8284.0	30051.0	0.0	68.0	490.0	86.0	7.0	4.0	3497.0	1.0	3.0	1116.8	315.5	23.1	22.1	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	6.0	28.0	0.0	0.0	873.0	0.0	0.0	4070.4	1232.2	12.8	8.1	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	25.0	20.0	0.0	0.0	168.0	0.0	0.0	1504.2	307.5	4.4	6.4	930.7	0.0
9	0.0	2442.0	4389.0	0.0	298.0	1661.0	1028.0	32.0	11.0	99359.0	3.0	9.0	2039.2	621.8	32.9	17.4	0.0	73.5
10	0.0	0.0	3660.0	0.0	61.0	169.0	196.0	0.0	13.0	17387.0	2.0	6.0	5611.2	6154.1	116.0	38.8	0.0	0.0
11	40057.0	3968.0	5981.0	109.0	182.0	1001.0	737.0	21.0	16.0	73333.0	3.0	9.0	6131.3	850.4	44.6	35.6	0.0	0.0
12	11064.0	4230.0	40414.0	28.0	373.0	868.0	830.0	33.0	41.0	52276.0	6.0	18.0	5078.5	97.2	79.3	44.7	24.1	318.4
13	18003.0	12640.0	480.0	137.0	300.0	1239.0	1813.0	21.0	1.0	102797.0	12.0	36.0	698.4	2363.8	83.9	74.6	0.0	7.7
14	146934.0	69686.0	600.0	951.0	188.0	684.0	1636.0	715.0	3.0	42078.0	9.0	27.0	11111.5	16.0	95.8	128.5	0.0	0.0
15	53104.0	0.0	0.0	96.0	16.0	109.0	498.0	0.0	0.0	24654.0	1.0	3.0	2875.9	1103.0	13.1	33.1	0.0	22.2
16	556386.0	25020.0	0.0	1544.0	339.0	1304.0	3386.0	213.0	0.0	51221.0	9.0	27.0	194.3	25.1	79.4	71.7	0.0	0.0
17	4944.0	8520.0	0.0	3.0	103.0	447.0	667.0	36.0	0.0	48275.0	4.0	12.0	1160.2	258.3	25.4	31.8	21.4	0.0
18	0.0	7073.0	1320.0	0.0	110.0	563.0	591.0	67.0	7.0	59663.0	4.0	12.0	26165.4	6522.2	71.8	50.2	30.2	0.0
19	3217.0	63896.0	3338.0	6.0	443.0	1777.0	1533.0	112.0	15.0	89400.0	6.0	18.0	7754.4	1015.0	46.1	46.4	54.4	61.2
20	323758.0	14501.0	12273.0	613.0	86.0	364.0	949.0	60.0	4.0	36087.0	6.0	18.0	1674.6	542.9	37.8	37.9	0.0	0.0
21	41366.0	64102.0	4792.0	280.0	247.0	1024.0	1114.0	144.0	20.0	46753.0	7.0	21.0	472.1	219.5	33.8	34.9	58.5	58.1
22	2661.0	50453.0	20791.0	5.0	517.0	1827.0	1254.0	69.0	52.0	99457.0	9.0	27.0	19900.4	3514.9	67.0	60.9	1.4	72.9
23	88000.0	308.0	0.0	4.0	29.0	130.0	163.0	1.0	0.0	37897.0	0.0	0.0	1561.4	636.7	50.1	38.6	17.0	102.5
24	3297.0	6672.0	1632.0	26.0	293.0	913.0	1117.0	29.0	5.0	64562.0	10.0	30.0	735.0	267.5	174.8	215.1	0.0	0.0
25	18312.0	2200.0	5740.0	12.0	166.0	505.0	681.0	7.0	13.0	24926.0	2.0	6.0	2552.4	563.5	68.9	88.6	31.7	0.0
26	43136.0	508969.0	23368.0	53.0	1082.0	3410.0	2269.0	794.0	66.0	111159.0	11.0	33.0	2198.1	1328.2	127.7	149.2	98.9	23.5
27	3108.0	38592.0	5773.0	68.0	245.0	1085.0	1035.0	527.0	21.0	140146.0	8.0	24.0	5182.6	1237.9	26.7	57.9	0.0	0.0
28	1816.0	11018.0	8770.0	4.0	834.0	3805.0	2612.0	50.0	37.0	310790.0	20.0	60.0	3027.9	501.8	18.0	48.2	0.0	0.0
29	2900.0	3287.0	264.0	5.0	545.0	2125.0	1713.0	24.0	2.0	149146.0	5.0	15.0	1905.5	298.3	31.1	38.2	13.7	31.9
30	4238.0	9856.0	30402.0	58.0	888.0	2720.0	2145.0	86.0	77.0	120366.0	6.0	18.0	400.1	107.4	79.8	130.3	21.7	25.7
31	1622.0	11174.0	2616.0	6.0	406.0	1191.0	1350.0	29.0	14.0	64572.0	8.0	24.0	959.0	284.6	38.4	62.5	0.0	31.7
32	0.0	1087.0	0.0	0.0	236.0	1565.0	869.0	11.0	0.0	95652.0	7.0	21.0	5892.4	1772.9	11.6	36.1	0.0	0.0
33	0.0	2720.0	2742.0	0.0	263.0	859.0	647.0	44.0	9.0	47149.0	7.0	21.0	2513.5	881.3	26.7	39.5	0.0	0.0
34	0.0	24812.0	1396.0	0.0	336.0	2204.0	1528.0	263.0	7.0	91464.0	10.0	30.0	1391.1	540.7	29.7	35.7	0.0	0.0
35	6208.0	1244.0	0.0	36.0	222.0	677.0	432.0	15.0	0.0	30875.0	5.0	15.0	8.0	4.6	14.3	28.4	0.0	0.0
36	766.0	1824.0	460.0	2.0	315.0	894.0	722.0	4.0	2.0	48766.0	1.0	3.0	250.3	37.7	17.9	38.5	2.7	0.0
37	0.0	4216.0	1754.0	0.0	387.0	1452.0	1024.0	9.0	7.0	45210.0	4.0	12.0	8205.9	8092.7	58.9	144.0	0.0	0.0
38	250.0	200308.0	32300.0	1.0	1405.0	3555.0	2289.0	2860.0	76.0	77275.0	11.0	33.0	3032.5	3178.8	92.8	95.7	0.0	0.0
39	0.0	3325.0	15198.0	0.0	1225.0	2616.0	1876.0	21.0	38.0	85500.0	14.0	42.0	1340.8	1169.3	88.4	78.5	0.0	0.0
40	576.0	882.0	1905.0	6.0	617.0	1608.0	1547.0	6.0	10.0	106379.0	7.0	21.0	4686.5	1329.4	105.7	78.7	162.1	163.5
41	0.0	7069.0	1245.0	0.0	582.0	1485.0	1040.0	28.0	8.0	56588.0	2.0	6.0	8331.6	3718.3	31.2	19.9	0.0	0.0
42	467.0	4461.0	5180.0	1.0	813.0	3149.0	2351.0	37.0	22.0	144433.0	8.0	24.0	1235.6	384.1	79.0	69.9	47.3	0.0
43	0.0	7782.0	11573.0	0.0	747.0	1735.0	1408.0	38.0	33.0	76524.0	7.0	21.0	616.1	98.3	138.9	82.1	50.3	61.1
44	1992.0	9066.0	3026.0	4.0	542.0	1622.0	1667.0	34.0	15.0	84511.0	7.0	21.0	4828.2	4801.9	108.4	54.6	24.7	0.0
45	652.0	6180.0	45439.0	1.0	1096.0	2607.0	2118.0	23.0	100.0	94062.0	12.0	36.0	10812.0	11781.3	116.5	52.4	0.0	0.0
46	0.0	3764.0	22704.0	0.0	427.0	1800.0	1392.0	24.0	48.0	129172.0	10.0	30.0	4992.8	1873.4	92.9	125.8	91.2	0.0
47	180.0	3926.0	1416.0	2.0	346.0	2308.0	1747.0	20.0	6.0	93419.0	6.0	18.0	5090.0	1300.8	143.2	99.4	25.7	21.7

#UPZ	I	AO	AC	AB	UO	EI	EC	ES	UC	UB	P	#PI	#PC	EmpC	viajes origen 2010	viajes destino 2010	Ton/día generadas 2007	Ton/día atraidas 2007
48	0.0	1558.0	1470.0	0.0	423.0	2250.0	1750.0	14.0	11.0	147524.0	11.0	33.0	4294.4	2067.8	43.0	15.4	0.0	0.0
49	0.0	1260.0	0.0	0.0	145.0	575.0	460.0	6.0	0.0	37437.0	2.0	6.0	222.9	104.0	28.9	10.4	25.5	0.0
50	0.0	390.0	912.0	0.0	212.0	1815.0	1219.0	5.0	4.0	101969.0	3.0	9.0	1250.5	202.3	15.9	22.0	0.0	14.0
51	0.0	228.0	528.0	0.0	150.0	1226.0	733.0	5.0	3.0	73747.0	3.0	9.0	8506.5	1176.2	1.7	11.4	14.5	0.0
52	0.0	0.0	0.0	0.0	58.0	276.0	158.0	0.0	0.0	19072.0	0.0	0.0	3256.5	1232.2	0.7	4.0	0.0	0.0
53	0.0	864.0	176.0	0.0	229.0	1128.0	627.0	12.0	2.0	65243.0	1.0	3.0	5468.3	1999.2	13.6	19.7	0.0	0.0
54	0.0	1264.0	0.0	0.0	262.0	1313.0	833.0	10.0	0.0	98303.0	5.0	15.0	101.7	20.6	17.2	19.1	0.0	0.0
55	0.0	2808.0	0.0	0.0	205.0	1156.0	737.0	8.0	0.0	80024.0	1.0	3.0	2814.2	6513.1	5.4	13.4	0.0	0.0
56	0.0	0.0	432.0	0.0	134.0	600.0	318.0	0.0	6.0	38065.0	1.0	3.0	9364.9	5573.5	8.0	8.4	0.0	0.0
57	0.0	2588.0	552.0	0.0	833.0	3328.0	1753.0	11.0	5.0	141998.0	7.0	21.0	2475.8	6004.4	27.7	22.3	21.7	0.0
58	324.0	660.0	1900.0	3.0	422.0	1674.0	849.0	6.0	15.0	89771.0	3.0	9.0	3208.5	6119.8	19.6	11.6	0.0	0.0
59	0.0	1368.0	90.0	0.0	285.0	902.0	499.0	14.0	1.0	58473.0	4.0	12.0	2366.1	1392.2	1.3	4.4	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	5.0	5.0	0.0	0.0	2059.0	0.0	0.0	9155.8	17394.8	0.0	0.0	0.0	0.0
61	0.0	588.0	54.0	0.0	15.0	159.0	105.0	36.0	1.0	14087.0	2.0	6.0	6223.9	858.4	10.2	7.5	0.0	0.0
62	0.0	220.0	6640.0	0.0	651.0	1359.0	914.0	3.0	20.0	57577.0	3.0	9.0	3186.8	6287.9	36.6	47.6	0.0	0.0
63	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	8.0	7.0	0.0	0.0	1539.0	1.0	3.0	1609.4	62.9	0.4	2.2	0.0	0.0
64	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	29.0	11.0	0.0	0.0	5574.0	0.0	0.0	14526.9	6832.0	0.7	1.3	0.0	0.0
65	0.0	0.0	1680.0	0.0	172.0	754.0	544.0	0.0	4.0	61328.0	1.0	3.0	4681.9	1697.4	23.4	24.5	0.0	0.0
66	0.0	2948.0	1112.0	0.0	281.0	1530.0	867.0	14.0	10.0	76551.0	8.0	24.0	7198.9	5246.6	29.7	25.8	102.2	24.7
67	0.0	360.0	1148.0	0.0	376.0	2299.0	1391.0	1.0	8.0	165246.0	6.0	18.0	4532.2	2199.2	17.2	16.2	0.0	14.8
68	0.0	1760.0	120.0	0.0	89.0	539.0	288.0	68.0	1.0	48506.0	5.0	15.0	1107.6	370.3	5.8	6.6	0.0	0.0
69	0.0	1290.0	1422.0	0.0	440.0	1935.0	1409.0	7.0	8.0	167941.0	9.0	27.0	5075.1	1937.5	37.0	23.4	252.8	314.5
70	0.0	2280.0	1480.0	0.0	201.0	1164.0	694.0	4.0	9.0	101513.0	3.0	9.0	4583.6	3211.9	22.6	13.3	0.0	0.0
71	0.0	6208.0	4292.0	0.0	284.0	1660.0	1009.0	27.0	33.0	230959.0	3.0	9.0	382.9	21.7	18.7	73.2	8.2	0.0
72	0.0	0.0	0.0	0.0	165.0	431.0	600.0	0.0	0.0	87312.0	2.0	6.0	6390.7	10130.8	17.3	20.7	0.0	0.0
73	0.0	2940.0	2258.0	0.0	598.0	2000.0	1971.0	17.0	14.0	152847.0	6.0	18.0	66.3	147.5	86.3	67.3	106.8	54.1
74	1120.0	4595.0	13867.0	4.0	644.0	1929.0	1438.0	27.0	47.0	134308.0	5.0	15.0	123.4	53.7	14.7	34.7	0.0	0.0
75	12437.0	16286.0	72327.0	26.0	693.0	3599.0	3016.0	50.0	109.0	139351.0	14.0	42.0	1034.5	265.2	103.6	147.5	8.2	217.9
76	15000.0	3384.0	137834.0	110.0	161.0	613.0	508.0	3.0	138.0	32717.0	3.0	9.0	2282.7	456.1	53.1	51.0	11.2	0.0
77	3300.0	1548.0	30584.0	6.0	130.0	544.0	413.0	18.0	22.0	41808.0	3.0	9.0	6881.1	2855.3	149.4	191.2	24.7	0.0
78	0.0	472.0	12900.0	0.0	14.0	62.0	36.0	16.0	3.0	34096.0	2.0	6.0	3942.4	377.2	20.0	53.6	0.0	0.0
79	0.0	184.0	360.0	0.0	80.0	521.0	233.0	12.0	3.0	71555.0	4.0	12.0	808.1	137.2	20.5	25.8	0.0	0.0
80	0.0	2322.0	7888.0	0.0	370.0	2839.0	951.0	9.0	21.0	71104.0	3.0	9.0	3450.8	1551.1	107.8	169.1	87.8	269.9
81	0.0	3232.0	8643.0	0.0	302.0	1569.0	934.0	9.0	21.0	70306.0	7.0	21.0	3882.9	2738.7	6.8	8.5	0.0	0.0
82	0.0	3008.0	4425.0	0.0	500.0	2576.0	1404.0	20.0	26.0	177454.0	7.0	21.0	3463.4	1535.1	25.1	42.4	0.0	60.3
83	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0	20.0	0.0	0.0	15378.0	0.0	0.0	7800.1	2511.3	1.1	1.9	0.0	0.0
84	0.0	5448.0	3674.0	0.0	523.0	2445.0	1536.0	27.0	31.0	183249.0	13.0	39.0	3135.4	586.4	7.3	5.5	0.0	0.0
85	0.0	8738.0	11760.0	0.0	867.0	4274.0	2822.0	60.0	30.0	224461.0	0.0	48.0	5999.8	2475.8	54.1	72.4	26.1	30.7
86	0.0	2505.0	1482.0	0.0	145.0	806.0	468.0	84.0	13.0	76194.0	1.0	3.0	6630.8	3167.4	0.0	1.6	0.0	0.0
87	0.0	0.0	600.0	0.0	44.0	414.0	220.0	0.0	4.0	47752.0	1.0	3.0	19527.7	8199.0	2.3	1.6	0.0	0.0
88	127367.0	1302.0	0.0	265.0	83.0	266.0	1357.0	5.0	0.0	30883.0	3.0	9.0	213.7	123.4	80.9	104.8	0.0	0.0
89	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	104.0	157.0	0.0	0.0	16858.0	1.0	3.0	6254.7	1985.5	8.9	11.3	0.0	0.0
90	91252.0	7122.0	0.0	191.0	69.0	303.0	778.0	42.0	0.0	37910.0	8.0	24.0	3662.3	1212.8	44.1	35.6	0.0	0.0
91	123464.0	39359.0	0.0	514.0	79.0	265.0	1743.0	109.0	0.0	5840.0	6.0	18.0	221.8	36.6	56.8	53.3	0.0	0.0
92	0.0	2549.0	0.0	0.0	32.0	151.0	291.0	4.0	0.0	14297.0	5.0	15.0	1037.9	268.6	3.1	12.2	0.0	0.0
93	3172.0	200.0	470.0	1.0	898.0	6478.0	5670.0	1.0	2.0	13707.0	7.0	21.0	2349.0	1579.7	126.8	119.5	0.0	0.0
94	0.0	0.0	0.0	0.0	543.0	2223.0	2732.0	0.0	0.0	24117.0	8.0	24.0	264.0	113.2	95.8	104.9	0.0	58.0
95	0.0	0.0	2620.0	0.0	181.0	618.0	452.0	0.0	5.0	23361.0	3.0	9.0	4702.5	2654.1	19.3	23.7	0.0	0.0

#UPZ	I	AO	AC	AB	UO	EI	EC	ES	UC	UB	P	#PI	#PC	EmpC	viajes origen 2010	viajes destino 2010	Ton/día generadas 2007	Ton/día atraidas 2007
96	0.0	0.0	0.0	0.0	73.0	433.0	334.0	0.0	0.0	46478.0	3.0	9.0	36258.4	13343.9	21.7	18.9	0.0	0.0
97	959702.0	71419.0	0.0	3339.0	617.0	3034.0	10184.0	259.0	0.0	26048.0	15.0	45.0	2627.9	1297.4	134.8	84.1	0.0	0.0
98	20196.0	24976.0	28331.0	51.0	1078.0	4413.0	2977.0	88.0	79.0	82361.0	19.0	57.0	10998.3	8873.4	336.0	190.4	0.0	0.0
99	360.0	10174.0	3192.0	1.0	276.0	1973.0	3638.0	69.0	7.0	20269.0	9.0	27.0	5061.4	5200.8	70.8	42.1	0.0	0.0
100	2304.0	19462.0	2714.0	7.0	394.0	1670.0	2162.0	163.0	6.0	34521.0	10.0	30.0	6633.1	2284.9	47.5	49.8	0.0	26.8
101	46528.0	0.0	0.0	16.0	179.0	679.0	2248.0	0.0	0.0	27361.0	10.0	30.0	5235.1	7752.1	66.5	37.9	0.0	0.0
102	8211.0	654670.0	19129.0	42.0	1552.0	10001.0	3173.0	3312.0	45.0	52401.0	14.0	42.0	15547.7	30168.3	509.2	575.7	333.8	243.1
103	1000.0	0.0	2122.0	1.0	22.0	48.0	58.0	0.0	4.0	4231.0	2.0	6.0	13025.0	20701.6	5.0	3.3	0.0	0.0
104	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	27.0	92.0	0.0	0.0	3451.0	1.0	3.0	5536.9	1663.1	29.8	24.9	0.0	0.0
105	12600.0	0.0	0.0	5.0	3.0	20.0	67.0	0.0	0.0	2490.0	1.0	3.0	1843.7	1227.6	19.0	10.6	0.0	0.0
106	100.0	320.0	0.0	2.0	50.0	225.0	493.0	0.0	0.0	33790.0	4.0	12.0	5765.5	6415.9	13.9	19.7	0.0	0.0
107	1800.0	1549.0	0.0	10.0	97.0	350.0	832.0	5.0	0.0	27314.0	9.0	27.0	1918.0	607.0	36.5	32.0	0.0	0.0
108	7233.0	7208.0	157149.0	5.0	671.0	3363.0	1043.0	66.0	35.0	4207.0	5.0	15.0	2208.4	618.4	217.5	185.4	0.0	62.4
109	265084.0	80000.0	0.0	927.0	9.0	40.0	86.0	356.0	0.0	18720.0	2.0	6.0	1836.9	432.1	32.9	19.4	0.0	0.0
110	44000.0	0.0	0.0	320.0	122.0	348.0	830.0	0.0	0.0	42573.0	4.0	12.0	17.1	20.6	63.3	37.3	0.0	0.0
111	0.0	0.0	11898.0	0.0	412.0	910.0	491.0	0.0	18.0	15053.0	5.0	15.0	40.0	1.1	324.4	273.7	68.0	338.3
112	0.0	1540.0	14555.0	0.0	184.0	270.0	422.0	6.0	13.0	24201.0	3.0	9.0	1571.7	1396.8	169.0	180.1	11.0	5.0
113	0.0	106286.0	2754.0	0.0	136.0	388.0	326.0	1160.0	5.0	20946.0	3.0	9.0	2859.9	760.1	121.0	202.1	0.0	0.0
114	433.0	4892.0	0.0	3.0	125.0	579.0	1010.0	12.0	0.0	39720.0	2.0	6.0	4095.5	993.3	129.4	150.5	0.0	0.0
115	55240.0	2592.0	15896.0	304.0	64.0	270.0	457.0	34.0	10.0	16965.0	1.0	3.0	871.0	273.2	71.9	22.2	0.0	0.0
116	0.0	13718.0	7296.0	0.0	167.0	324.0	338.0	18.0	21.0	13924.0	3.0	9.0	3918.3	6481.0	23.5	23.1	0.0	0.0
117	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	121.0	283.0	0.0	0.0	863.0	0.0	0.0	2010.6	466.4	145.8	103.3	0.0	0.0

Fuente: Elaboración Propia Basado en Secretaría Distrital de Planeación y Secretaría Distrital de Movilidad