



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE MOVILIDAD

**DISEÑO CONCEPTUAL DE LA RED DE TRANSPORTE MASIVO  
METRO Y DISEÑO OPERACIONAL, DIMENSIONAMIENTO  
LEGAL Y FINANCIERO DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN  
EL MARCO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE  
PUBLICO-SITP- PARA LA CIUDAD DE BOGOTA**

**PRODUCTO Nº 02  
NUEVO MODELO DE TRANSPORTE VALIDADO Y CALIBRADO**

**MB-GC-ME-0002**

**Rev.3. Septiembre 2009**



TITULO DEL DOCUMENTO: NUEVO MODELO DE TRANSPORTE VALIDADO Y CALIBRADO

DOCUMENTO N°: MB-GC-ME-0002

Referencia: P210C25

Fichero: MB -GC-SR - ME - 080909 - P02-MODELO VALIDADO Y CALIBRADO

Revisión: Rev.3.

Fecha revisión : Septiembre 2009

	Nombre	Firma	Fecha
Realizado por	Adolfo Majano		Septiembre 2009
	Daniel de La Hoz Sánchez		Septiembre 2009
	Fernando de Lucas		Septiembre 2009
	Johanna M <sup>a</sup> . Lobo Gutiérrez		Septiembre 2009
	M <sup>a</sup> . Antonieta Royuela Escalona		Septiembre 2009
	Marta Latorre Sánchez		Septiembre 2009
	Xavier Albors Ripoll		Septiembre 2009
Verificado por	José Manuel Almoguera		Septiembre 2009
Aprobado por	Luis M. San Martín Esteban Rodríguez		Septiembre 2009

### REGISTRO DE CAMBIOS

<b>REV.</b>	<b>FECHA</b>	<b>SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO</b>	<b>INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO</b>
0	Mayo 2009	TODOS	DOCUMENTO INICIAL
1	Junio 2009		ENTREGA PRELIMINAR
2	Julio 2009	MEMORIA ANEXO B ANEXO C ANEXO G	REVISIÓN TÉCNICA COMPROBACIÓN ZONAS NUEVO CONTENIDO NUEVO CONTENIDO
3	Septiembre 2009		REVISIÓN FINAL

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>7</b>
2.1	Encuesta de Movilidad DANE 2005 – EDM 2005 .....	8
2.2	Formulación del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá, que incluye ordenamiento de estacionamientos -2006 - PMM.....	10
2.3	Estudio para la reformulación del Plan Vial de Transporte y de Espacio Público Peatonal del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.....	10
2.4	Estructuración Técnica, Legal y Financiera del Tren de Cercanías de la Sabana de Bogotá-2008.....	12
2.5	Actualización y validación de las matrices de TP y revisión de la Base de Datos de Oferta física y operativa del modelo de transporte de la ciudad de Bogotá - 2007.....	14
2.6	Estudio Diseño Técnico, legal y financiero del Sistema Integrado de Transporte Público para la ciudad de Bogotá D.C. 2008 - SITP .....	16
<b>3</b>	<b>ACTUALIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DE MODELO DE TRANSPORTE.....</b>	<b>18</b>
3.1	Ámbito del estudio .....	18
3.2	Zonificación .....	19
3.3	Análisis y validación de la Información de partida – SITP 2007 .....	21
3.3.1	Modelo de Transportes SITP 2007.....	21
3.3.2	Matriz de transporte Privado – SITP 2007 .....	25
3.3.3	Matriz de transporte público – SITP 2007 .....	28
3.3.4	Redes de transporte .....	29
3.4	Esquema metodológico .....	35
3.5	Actualización de datos socioeconómicos y de movilidad AL Año 2008 .....	36
3.5.1	Variables Independientes: Datos Socioeconómicos .....	36
3.5.2	Variables dependientes: datos de Movilidad.....	63
3.6	Matriz de transporte Privado al 2008.....	64

---

3.6.1	Planteamiento general para el cálculo de una matriz de vehículo privado para el año base de 2008 .....	64
3.6.2	Formulaciones del Modelo Sintético.....	67
3.6.3	Calibración y Validación de los modelos propuestos .....	77
3.7	Matriz de Transporte Público al 2008.....	91
3.8	El Modelo de transporte .....	94
3.8.1	Modelo de Transporte SITP actualizado al 2008 .....	95
3.8.2	AJUSTE Y CALIBRADO DEL MODELO DE PARA VEHÍCULO PRIVADO .....	96
3.8.3	AJUSTE Y CALIBRADO DEL MODELO PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO .....	124
3.9	Conclusiones sobre la calibración del modelo 2008 .....	157
<b>4</b>	<b>GLOSARIO .....</b>	<b>158</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge el contenido del Producto 02. Nuevo Modelo de transporte validado y calibrado, previsto en la Etapa 1 del contrato “Diseño Conceptual de la Red de Transporte Masivo Metro y Diseño Operacional, Dimensionamiento Legal y Financiero de la Primera Línea del Metro en el marco del Sistema Integrado de Transporte Público - SITP- para la ciudad de Bogotá” actualmente en ejecución por el GRUPO CONSULTOR METRO DE BOGOTÁ.

El objetivo central del presente informe es presentar los trabajos realizados para la actualización y calibración al año 2008 del modelo de transportes de la ciudad de Bogotá facilitado por el cliente. Este proceso ha consistido fundamentalmente en la mejora y validación de la malla vial del ámbito de estudio dentro del modelo, en la creación y aplicación de un nuevo modelo de generación de viajes para la obtención de la matriz de transporte privado a partir de datos de la Encuesta 2005 y en la mejora del nivel de calibración del modelo anterior mediante el reajuste de algunos parámetros y funciones tanto para el transporte público como el privado.

Con el fin de ilustrar de forma más completa, este producto cuenta con los siguientes anexos:

- Anexo A: Descripción del contenido de la Encuesta de Movilidad del DANE.2005, en el cual se detallan los campos incluidos en cada módulo de la encuesta
- Anexo B: Correspondencia entre zonas que se ha realizado en el estudio del SITP
- Anexo C: Variables socioeconómicas
- Anexo D: Estudio de antecedentes de la matriz de transporte privado
- Anexo E: Análisis de la movilidad a partir de la encuesta de movilidad – DANE 2005
- Anexo F: Aforos 2008 de vehículos y velocidades
- Anexo G: Precarga de vehículos equivalentes

Cabe destacar que durante el desarrollo del trabajo, se han tenido en cuenta, en la medida de lo posible las observaciones realizadas por el Grupo Interventor, la SDM y TransMilenio y las consideraciones realizadas por la Secretaría de Planeación Distrital.

## 2 ANTECEDENTES

Con el objeto de encontrar alternativas para resolver la situación problemática que caracterizaba el transporte público de la ciudad de Bogotá, la administración realizó una serie de estudios encaminados a identificar y desarrollar propuestas para solucionar los principales problemas del servicio y mejorar la movilidad en la ciudad, entre otros:

- Estudio del Plan Maestro del Transporte Urbano de Santafé de Bogotá-JICA (1996)
- Avenida Troncal Caracas;
- The feasibility study on the project of highway and bus-lane on Santa fé de Bogotá (1998)
- Lineamientos para el diseño de un nuevo sistema de rutas de transporte público para la ciudad de Santa Fé de Bogotá (febrero 1998)
- Estudio de consultoría para el diseño operacional del sistema de transporte público colectivo de Santa Fé de Bogotá.
- Estudio del sistema de transporte complementario a TRANSMILENIO
- Plan Maestro de Movilidad de Bogotá D.C. que incluye estacionamientos

Años más tarde, y desde la implantación del sistema TransMilenio en el año 2000, la Secretaría de Movilidad (en adelante SDM) contrató diversos estudios de movilidad en la ciudad de Bogotá cuyos resultados apuntaron a una integración del sistema de transporte como solución última al problema (objetivo dentro del cual está enmarcado el proyecto metro).

Una vez realizada la revisión de la extensa documentación existente en materia de transporte para la ciudad de Bogotá, y de acuerdo con los TdR, se considera necesario actualizar los datos socioeconómicos y de transporte para el ámbito de estudio para el año 2008 – definido como año base para los estudios de modelización -, de forma que permita al Grupo Consultor (en adelante GC) obtener una caracterización de la situación actual en cuanto a la movilidad en la ciudad y su área de influencia y que, así mismo facilite realizar a futuro, las predicciones sobre el comportamiento de la demanda de transporte.

Para ello es necesario partir de la información socioeconómica y de movilidad disponible a la fecha provista por la Secretaría de Movilidad de Bogotá, y que de acuerdo con la Administración contiene las variables necesarias a considerar en el análisis previsto.

Entre las principales fuentes a tomar como referencia hay que destacar los siguientes:

- Encuesta de Movilidad del DANE.2005 (ver Anexo A)
- Formulación del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá, que incluye ordenamiento de estacionamientos -2006
- Estudio para la reformulación del Plan Vial de Transporte y de Espacio Público Peatonal del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.
- Estructuración Técnica, Legal y Financiera del Tren de Cercanías de la Sabana de Bogotá-2008
- Actualización y validación de las matrices de TP y revisión de la Base de Datos de Oferta física y operativa del modelo de transporte de la ciudad de Bogotá -2007
- Diseño Técnico, Legal y Financiero del Sistema Integrado de Transporte Público para la ciudad de Bogotá D.C.- 2008

La primera parte de este documento se centra en el análisis de toda la información de referencia, la segunda actualiza y analiza la situación actual de la ciudad (año 2008). La tercera y última desarrollará el modelo de transportes

## 2.1 ENCUESTA DE MOVILIDAD DANE 2005 – EDM 2005

La Encuesta de Movilidad, realizada por el Departamento Nacional de Estadística – DANE, se realizó en Bogotá y en 17 municipios vecinos en el año 2005, con el fin de permitir a la Secretaría de Tránsito y Transporte - STT (hoy día Secretaría de Movilidad- SDM) contar con información primaria de la movilidad en la ciudad para su planeación estratégica, considerando las transformaciones que en este tema ha experimentado Bogotá en los últimos años. Esta encuesta ha servido como pilar para la elaboración del Plan Maestro de Movilidad (PMM) y contiene la información más actualizada de todos los modos de transporte.

La encuesta presenta las siguientes características:

- En ella se incluían viajes a pie superiores a 15 minutos.
- Se consultaba la propiedad vehicular y si el vehículo se encuentra matriculado en Bogotá o fuera de Bogotá.
- Se tienen en cuenta las dos principales actividades socioeconómicas.
- Se consultó sobre preferencias en el uso del transporte público sobre el automóvil.
- Se consultó sobre la ocupación vehicular para vehículos particulares y taxis cuando se usan para viajes personales.
- Se incluyó información operativa sobre los viajes en TransMilenio.

Esta información se recopiló en cuatro módulos distintos:

1. **Módulo A – Identificación y control de la entrevista.** Contiene 13 campos en los cuales se identifica el hogar encuestado, y adicionalmente se tiene la primera pregunta del módulo B (propiedad de vehículos no motorizados) debido a que ésta sólo se realiza una vez por hogar. Tiene un total de 20.686 registros, correspondientes al número de encuestas completas realizadas. En el anexo A se detallan los campos incluidos en cada módulo de la encuesta.
2. **Módulo B - Vehículos de transporte disponibles en el hogar.** Contiene 12 campos y en ella se registra el módulo B, correspondiente a la disponibilidad de vehículos motorizados en el hogar. Los vehículos no motorizados se relacionaron en el archivo del módulo A. Tiene un total de 21517 registros.
3. **Módulo C – Características de los miembros del hogar.** Contiene 41 campos en donde se identifican las características socioeconómicas de los miembros del hogar encuestado. Tiene un total de 71509 registros, correspondientes al total de personas encuestadas.
4. **Módulo D – Desplazamientos realizados por las personas del hogar.** Contiene 29 campos en donde se caracterizan los desplazamientos realizados por las personas del hogar encuestado. En total se tienen 90637 registros, los cuales representan los viajes realizados por las personas encuestadas.



Figura 2-1 Instrumento para la Encuesta de Movilidad 2005. DANE

00000000000000000000

Nro. de cuestionario  Cuestionario  da

SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTES DE BOGOTÁ, D.C.  
*Proyecto de Incentivos*

**ENCUESTA SOBRE MOVILIDAD**  
**FEBRERO DE 2005**

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA

**CONFIDENCIAL:** Los datos que el DANE solicita en este formulario son estrictamente confidenciales y en ningún caso tienen fines fiscales ni pueden utilizarse como prueba judicial (Ley 79 de 1993, Art. 5º).

**OBJETIVO DE LA ENCUESTA:** Caracterizar la movilidad urbana de Bogotá y de 17 municipios vecinos, de modo que esta información sirva de base para optimizar su sistema de transporte

A B C D E F G H I J K L M N Ñ O P Q R S T U V W X Y Z

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

- Utilice este tipo de letra y números  
 - Utilice únicamente el lápiz y el borrador que le entregaron  
 - No lea, bote o complétemente  
 - No marque las 0's  
 - Utilice las abreviaturas del manual  
 - No dependa ninguna hoja  
 Marque así:

**A. IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA ENTREVISTA**

**I. IDENTIFICACIÓN**

1. Departamento

2. Municipio

3. Sector

4. Sección

5. Manzana

6. UPZ

7. Estrato socioeconómico

8. Código interno

9. Total de hogares en la vivienda

10. Hogar Nro.

11. Nro. de personas en el hogar

12. Nro. de personas de 5 años y más

13. Dirección de la vivienda

14. Barrio

15. Teléfono fijo

16. Jefe del hogar

**II. CONTROL DE LA ENTREVISTA**

Cuenta operativa  Supervisor

Entrevistador  Codificador

Visita nro.	Fecha				Entrevista concluida		Observaciones y comentarios
	Día	Mes	Sí	No	Razón*		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		

1. Lunes  
 2. Martes  
 3. Miércoles  
 4. Jueves  
 5. Viernes  
 6. Sábado  
 7. Domingo

\* Claves de la variable razón:  
 1. Encuesta Completa (EC)  
 2. Encuesta Incompleta (EI)  
 3. Fuera de Hogar (NH)  
 4. Ausente Temporalmente (AT)  
 5. Rechazo (R)  
 6. Ocupada la Persona (OP)  
 7. Accidente (V)  
 8. Otro Motivo (O)

RESULTADOS FINAL DE LA ENCUESTA

Forma DANE -

Fuente: DANE

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD PARA BOGOTÁ, QUE INCLUYE ORDENAMIENTO DE ESTACIONAMIENTOS -2006 - PMM**

Elaborado a partir de la Encuesta de Movilidad del 2005 realizada por el DANE, los objetivos del PMM están orientados a lograr un transporte urbano – regional integrado, eficiente y competitivo, en operación sobre una red jerarquizada y a regular el tráfico en función de los modos de transporte que la utilicen, incluido el ordenamiento de estacionamientos.

El PMM considera que *“...el sistema de transporte debe dar respuesta a las necesidades internas y de conexión con los flujos externos de movilidad de personas y de carga en el marco de la estrategia de ordenamiento para una ciudad abierta y desconcentrada en un territorio urbano regional, orientado a consolidar el área urbana, contener la conurbación, mejorar la productividad sectorial y, en general, aumentar la competitividad de la región Bogotá – Cundinamarca”*.

En este sentido el PMM indica que la sociedad en general se ha visto beneficiada de manera importante con la puesta en marcha del Sistema TransMilenio, obteniendo elevados ahorros en el tiempo de viaje de los usuarios y la reducción de costos de operación de buses ineficientes retirados de la circulación.

## **2.3 ESTUDIO PARA LA REFORMULACIÓN DEL PLAN VIAL DE TRANSPORTE Y DE ESPACIO PÚBLICO PEATONAL DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE BOGOTÁ D.C<sup>1</sup>**

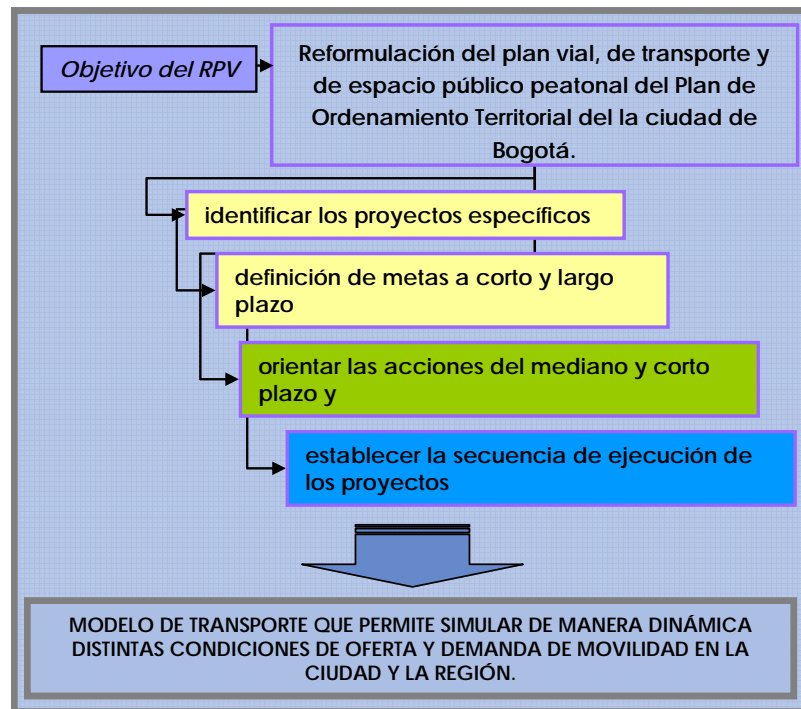
El objeto general del proyecto era “la reformulación del plan vial, de transporte y de espacio público peatonal del Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Bogotá. La reformulación pretende identificar los proyectos específicos y las metas a alcanzar en los próximos años, en un esquema dinámico que permita definir las metas de largo plazo, orientar las acciones del mediano y corto plazo y establecer la secuencia de ejecución de los proyectos.”

Una de las herramientas más importantes en el estudio de reformulación del plan objeto de este estudio era un modelo de transporte que permitiera simular de manera dinámica distintas condiciones de oferta y demanda de movilidad en la ciudad y la región.

---

<sup>1</sup> Contratado por Secretaría de Planeación Distrital y realizado por Steer Davies & Gleave. 2005

Figura 2-2 . Objetivos del Plan de Reformulación Vial



Fuente: Estudio Reformulación del Plan vial, de transporte y Espacio Público Peatonal del POT. 2005.

Este estudio se dividió en 6 capítulos, en los cuales se describen aspectos como:

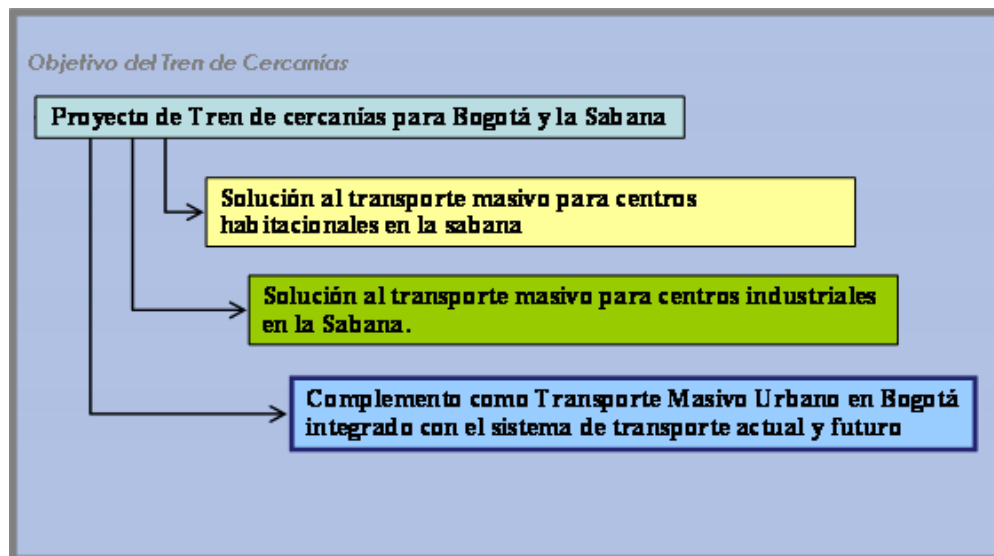
- **El plan vial de transporte y de espacio público peatonal**, donde se realiza una descripción general del papel que juega el plan vial, de transporte y de espacio público peatonal dentro del Plan de Ordenamiento Territorial. El principal resultado es un primer insumo de política para la generación de escenarios y la reformulación del plan.
- **Inventario del avance del plan vial** a mayo de 2005, en el cual se describen los resultados del inventario de avance del plan vial de acuerdo con las visitas realizadas dentro del marco de este estudio. Este capítulo genera un segundo insumo en la medida en que identifica atrasos en el desarrollo del plan y desequilibrios zonales para tener en cuenta en el momento de reformularlo.
- **Estructuración del escenario base de modelación desde la perspectiva de la oferta de transporte**: Esta sección presenta los componentes empleados para caracterizar la oferta de transporte en el escenario base de modelación (año 2002/2003).
- **Estructuración del escenario base de modelación desde la perspectiva de la demanda de transporte**: Esta sección presenta los componentes empleados para caracterizar la demanda de transporte en el escenario base de modelación (año 2002/2003).
- **Base metodológica y calibración del modelo**. Se presenta el proceso de calibración del modelo de transporte de redes y del modelo de generación y distribución de viajes. Este capítulo es importante en la definición de los parámetros considerados y de las variables que se utilizan en la definición y simulación de escenarios.
- **Definición de escenarios**. Este capítulo establece las bases para la definición de los escenarios que se modelan en este estudio.

- **Resumen de resultados.** Este capítulo presenta un primer conjunto de resultados de las simulaciones. Este producto sirve como insumo a las evaluaciones y a la realización de ajustes a algunos escenarios de simulación posteriores.

## 2.4 ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA, LEGAL Y FINANCIERA DEL TREN DE CERCANÍAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ-2008

El objetivo del estudio realizado por ConCol para el ministerio de Transporte apuntó a definir las características de la demanda de pasajeros de la zona de estudio y la oferta de transporte existentes a la fecha, para realizar asignaciones en diversos escenarios y analizar el comportamiento del sistema de transporte urbano y regional de la ciudad si se consideraba el SITP.

Figura 2-3 . Objetivos del Proyecto Tren de Cercanías



Fuente: Estudio Estructuración Técnica, Legal y Financiera del Tren de Cercanías de la Sabana de Bogotá y el Distrito Capital. ConCol 2008.

Contempla las siguientes 3 alternativas conceptuales de servicio solo regional o regional y urbano:

- Sistema de servicio a la periferia de Bogotá: De acuerdo con el PMM, el Tren podría operar conectándose con los Complejos de Integración Modal propuestos en la periferia de la ciudad. Teniendo en cuenta que la mayoría de los viajes de los Municipios de la Sabana van hacia el centro expandido de la ciudad de Bogotá, esta propuesta generaría una transferencia obligatoria en la periferia, aumentando los tiempos de viaje de los usuarios. Adicionalmente no se estaría aprovechando el corredor férreo existente en Bogotá que debe considerarse como un complemento importante para el transporte urbano. Por otra parte, los CIM propuestos en el PMM no se encuentran sobre el eje de la vía férrea, por lo cual sería necesario implantar sistemas de alimentación que generan transferencias adicionales.
- Sistema integrado con estaciones para el sistema de TransMilenio para alimentar el transporte urbano de Bogotá hasta 2013, asumiendo que a partir del año 2013 el Distrito ya ha implantado en su totalidad el SITP.

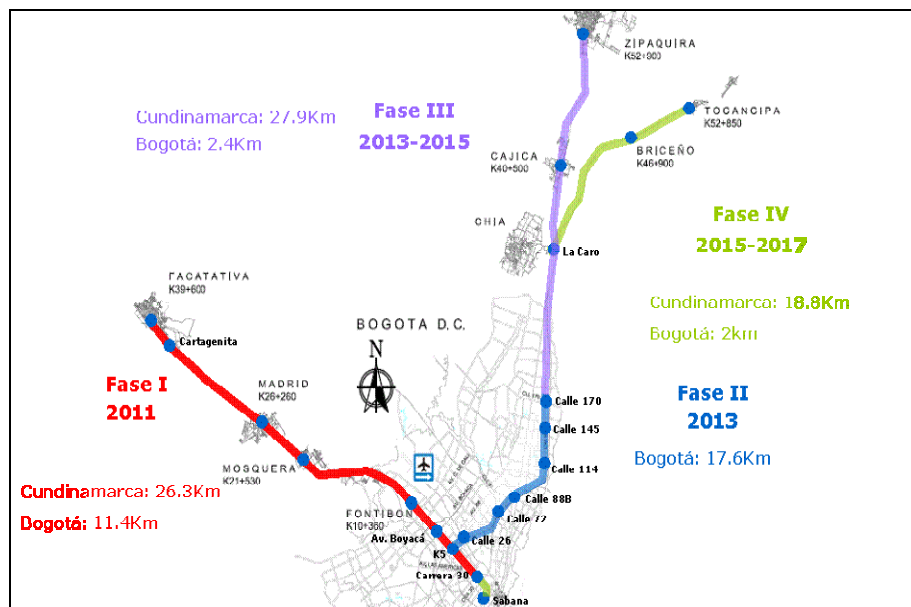
- Sistema integrado con el SITP: En esta propuesta se está teniendo en cuenta el interés de la ciudad de Bogotá para integrar todo el transporte público, generando mayores facilidades para los usuarios, la reducción de los tiempos de viaje y así mismo la reducción del costo del transporte a través de la integración tarifaria, esta política se encuentra establecida en el PMM y en el Plan de Desarrollo de Bogotá. Su desarrollo va ligado a las políticas del SITP en el cual se plantean como corredores de alta capacidad a mediano plazo algunas vías que se interceptan con el tren tales como son la Carrera 68/Calle 100, Av. Boyacá, Calle 134, entre otras.

Adicionalmente al componente de cercanías que unen Bogotá con centros urbanos medianos o pequeños que pueden denominarse como ciudades-dormitorio, se ha evaluado la integración con el sistema de transporte de Bogotá encontrando que al capitalizar los corredores férreos en la ciudad se obtiene un componente importante del servicio de transporte urbano, para lo cual será necesario tener mayor número de estaciones en la zona urbana de Bogotá. Respecto a esta expectativa, es importante recordar que una de las ventajas más importantes y el mayor atractivo del tren es la reducción de los tiempos de viaje para los pasajeros del área suburbana debido a la velocidad comercial que se alcanza, la cual se verá disminuida con la inclusión de mayor cantidad de puntos de parada.

De acuerdo con la evaluación de la demanda y las necesidades de infraestructura de pasos a desnivel, el proceso de construcción del proyecto del tren de cercanías se plantea inicialmente en las cuatro fases que se presentan a continuación, sin embargo de acuerdo con los resultados del modelo financiero estas fases pueden modificarse atendiendo la realidad de la disponibilidad presupuestal para el proyecto:

- Fase I: Entre la Carrera 30 (K2) y Facatativá.
- Fase II: Corredor Norte desde el K5 hasta la Calle 200.
- Fase III: Desde la Calle 200 hasta Zipaquirá.
- Fase IV: Desde la Estación La Caro hasta Tocancipá y desde la Estación de la Sabana hasta el Km 2.

Figura 2-4. Líneas férreas del Sistema



Fuente: Estudio Estructuración Técnica, Legal y Financiera del Tren de Cercanías de la Sabana de Bogotá y el Distrito Capital

Entre los principales aspectos y conclusiones, se obtuvo lo siguiente:

- La demanda de pasajeros se incrementaría si se implementara el SITP debido a la política de redistribución prevista.
- El Sistema Integrado de Transporte Público permitiría una oferta mayor propiciando alternativas más económicas para los usuarios.
- Los volúmenes mayores de población se concentran en los municipios de Mosquera en el corredor oeste; a partir de 2015, los volúmenes de población más destacables se situarán en la zona septentrional de la Sabana de Bogotá.
- El factor que influye más en los costes totales de viaje es la tarifa que los usuarios deben abonar para poder usar la infraestructura; Otro factor que influye en el coste total del viaje es la velocidad del tren aunque esta se puede mejorar incrementando la frecuencia de servicio. En números, al incrementar la tarifa un 5%, la demanda en los estratos medios se reduce un 20% mientras que la población perteneciente a los estratos más desfavorecidos usa un 40% menos el transporte.
- Otro factor que influye en el coste total del viaje es la velocidad del tren.
- mejorar incrementando la frecuencia de servicio. En números, al incrementar la tarifa un 5%, la demanda en los estratos medios se reduce un 20% mientras que la población perteneciente a los estratos más desfavorecidos usa un 40% menos el transporte.
- Se resalta la necesidad de realizar ajustes a los Planes de Ordenamiento Territorial de los Municipios de la Sabana y del Distrito Capital y al PMM de Bogotá, teniendo en cuenta los nuevos lineamientos para los sistemas de transporte así como para lograr la densificación de estos municipios como ciudades dormitorio así como para la formación de centros industriales en las zonas aledañas al corredor férreo.

## **2.5 ACTUALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS MATRICES DE TP Y REVISIÓN DE LA BASE DE DATOS DE OFERTA FÍSICA Y OPERATIVA DEL MODELO DE TRANSPORTE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ -2007**

Este estudio, realizado por el consorcio DG consultora – Cal y Mayor Asociados en el año 2007, centra su análisis en la actualización de los focos de demanda de transporte público en la ciudad de Bogotá. La realización del mismo obedeció a la necesidad de conocer las demandas existentes en ese año de movilidad en la ciudad de Bogotá para poder actualizar los aforos de las matrices de transporte público.

En este estudio se realizó una revisión de los modelos de transporte existentes en la Secretaría de Movilidad, incluyendo la revisión de la zonificación de transporte existente (661 zonas), dadas las necesidades de mayor desagregación de las zonas periféricas de la ciudad que han manifestado un importante desarrollo urbano y para generar una consistencia geográfica con las delimitaciones macro del análisis socioeconómico considerado, Unidades de Planificación Zonal.

Este estudio tomó como base la encuesta del 2005. Como resultado de la corrección de la zonificación se obtuvo un total de 824 zonas de transporte, divididas en 764 zonas urbanas de Bogotá y 60 zonas externas, de los municipios aledaños más importantes con la información de los viajes de la hora pico de la ciudad.

En el citado estudio se realizó un trabajo de campo para recoger información de transporte público colectivo y masivo en algunas zonas previamente identificadas de la periferia de la ciudad. Este trabajo de campo ha contado con la realización de encuestas de preferencias declaradas para la estimación del valor subjetivo del tiempo (VST) y parámetros de modelación de tiempo de espera, caminata y abordaje.

Como resultados de la modelación para el año base de este estudio, se obtuvo que para el modelo de transporte privado, la calibración consistió en reproducir los volúmenes vehiculares observados en campo y los tiempos de recorrido recabados para los principales corredores, mediante un proceso iterativo sobre el principio de ensayo y error comparando las cifras del modelo con las obtenidas en los puntos de aforo. El modelo de transporte público por su parte, se calibró de forma similar al modelo de transporte privado, reproduciendo los parámetros de velocidad, volúmenes de pasajeros y los tiempos medios de viaje entre otros.

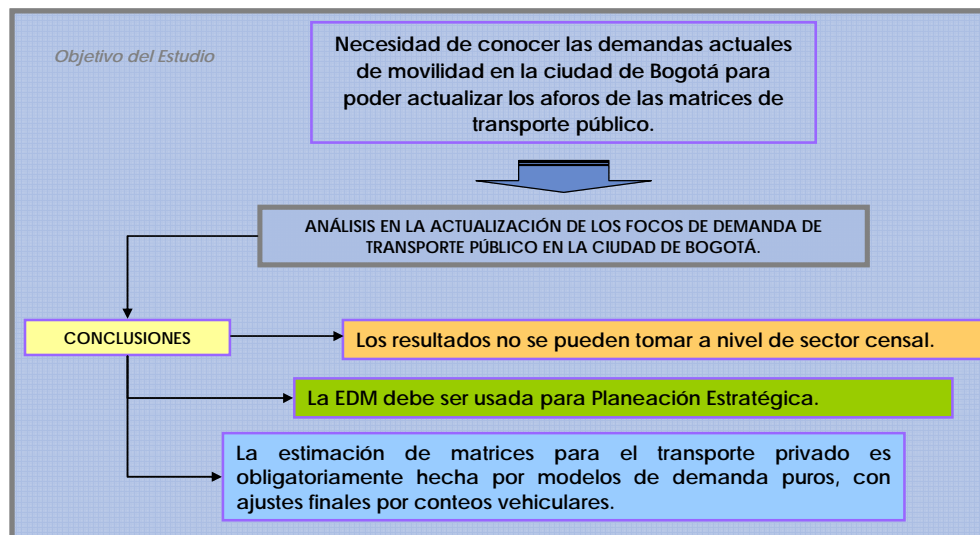
Una vez realizada la modelación, este estudio actualizó la demanda de la ciudad de Bogotá a partir de la combinación de las matrices obtenidas en el año 2002 y 2005.

Entre los principales aspectos y conclusiones resultado del estudio, se obtiene que

- La producción de viajes en transporte privado destaca en las localidades situadas en el centro y al noreste de la ciudad mientras que en la zona sur, éstas son casi inexistentes
- La atracción de los viajes en modo privado se concentra eminentemente en los barrios situados en el centro Administrativo de la ciudad
- Se sugiere realizar un estudio para conocer la capacidad máxima de vehículos privados para cada tipo de vía así como complementar los datos existentes de tiempo de recorrido de las vías principales añadiendo información de corredores secundarios y locales
- El origen de trayectos en modo público está situado en las zonas periféricas de la ciudad especialmente en la mitad occidental
- El destino principal de los trayectos realizados con transporte público es, como en el caso del modo privado, la zona Administrativa de la ciudad
- Los estratos de población con niveles adquisitivos medios son los mayores usuarios del transporte público ya que representan el 55% del total mientras que los habitantes con menores recursos apenas significan un 6% del global

A continuación se presenta un esquema del estudio y actualización de matrices, en donde puede identificarse las principales etapas del mismo.

**Figura 2-5 Esquema del Estudio**



*Fuente: Actualización y validación de las matrices de TP y revisión de la Base de Datos de Oferta física y operativa del modelo de transporte de la ciudad de Bogotá -2007*

## 2.6 ESTUDIO DISEÑO TÉCNICO, LEGAL Y FINANCIERO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. 2008 - SITP

El objeto de este estudio fue diseñar y estructurar el Sistema Integrado de Transporte Público para el Distrito Capital, como un sistema jerarquizado con corredores, que aseguren la integración del sistema de transporte público de la ciudad en cuanto a operación, tarifas, recaudo y complementariedad, garantizando así la conectividad, cobertura y accesibilidad a toda la población de la Ciudad - Región, mediante el establecimiento y diseño de las fases de gradualidad de implementación que el sistema requiera.

El diseño del Sistema Integrado de Transporte Público, SITP, es un proyecto que surge de la visión futura de movilidad que ha definido la ciudad y que se ha consignado en herramientas de planeación como el Plan de Ordenamiento Territorial - POT y el PMM. Concretamente, el estudio del SITP plantea la necesidad de definir alternativas para solucionar de manera integral y sostenible los problemas estructurales del transporte colectivo de modo que se logre integrar los servicios en un sistema que cubra la totalidad de las necesidades de los usuarios.

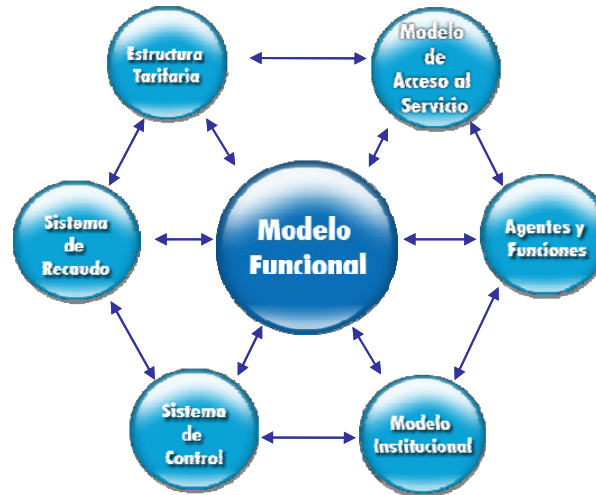
Es dentro de este estudio donde se retoman los planteamientos del POT en cuanto a la realización de infraestructuras complementarias del sistema de transporte de la Ciudad – Región. El POT destaca la ejecución de las obras del Tren de Cercanías y la ejecución e implantación de la red de metro como parte de un sistema integrado de transporte.

La propuesta de diseño del SITP busca la definición de estrategias que permitan que el sistema contribuya con el desarrollo de los objetivos y las políticas del sistema de movilidad a la vez que soluciona los aspectos estructurales que causan los problemas en la prestación del servicio. En consecuencia, el SITP plantea una nueva visión, para cada uno de los componentes asociados al servicio, que define los requerimientos y procesos necesarios para que se alcancen las metas planteadas y se construya un sistema de transporte público integrado de calidad. En ese sentido, las metas definidas para el SITP están asociadas directamente con mejoras en la calidad de la prestación del servicio. Así, en



la medida en que los indicadores operacionales de calidad y productividad del sistema mejoren se puede decir que el SITP está cumpliendo con lo planeado.

**Figura 2-6 Componentes del SITP.**



Fuente: Secretaría de Movilidad – TransMilenio S.A.

### **3 ACTUALIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DE MODELO DE TRANSPORTE**

El proceso de actualización y calibración del modelo de transporte se ha desarrollado con un análisis del modelo de transporte de la ciudad, contenido en el SITP, el cual analiza y distribuye todos los componentes de la demanda en cuatro grupos socioeconómicos compuestos por estratos como se indica:

- Grupo 1: Estrato socioeconómico 1
- Grupo 2: Estrato socioeconómico 2
- Grupo 3: Estrato socioeconómico 3
- Grupo 4: Estratos socioeconómicos 4, 5 y 6

A continuación se describen cada uno de los procedimientos seguidos, hipótesis planteadas, así como los resultados obtenidos en el proceso de calibración.

#### **3.1 ÁMBITO DEL ESTUDIO**

Tal y como se expresa en el Estudio para el SITP del 2007, existe una zonificación de transporte definida para la ciudad, establecida por la Administración de la ciudad a través de diversos procedimientos de planificación, que se ha venido ajustando a medida que la ciudad crece y evoluciona, siendo para la situación actual de 824 zonas. Cada una de estas zonas tiene características específicas, basadas principalmente en el uso predominante del suelo, que permiten asociar diferentes parámetros de tipo socioeconómico y que finalmente son las unidades de análisis básico en el proceso de planeación del transporte.

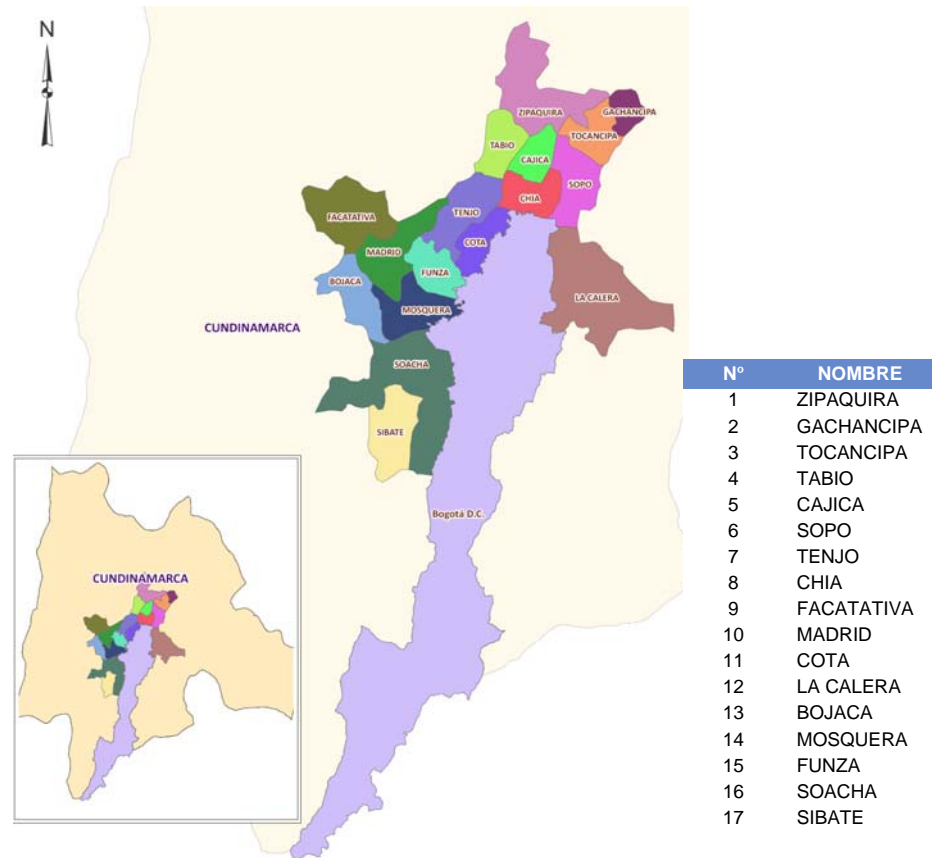
Teniendo en cuenta que el marco del presente estudio es el realizado previamente para el SITP en 2007, se acoge el ámbito analizado en dicho estudio y se parte de la zonificación establecida en el mismo para proceder a los análisis y proyecciones del modelo de transporte a futuro.

Considerando lo anterior y de acuerdo con el análisis realizado en el Documento de Diagnóstico, se ha acordado tomar el territorio analizado dividido en dos partes:

- Ámbito Interior – Soacha y Bogotá D.C.
- Ámbito ampliado – resto de municipios del PMM 2005.

Las razones para la elección de este ámbito apuntan a la necesidad de incluir las áreas de Bogotá D.C. y Soacha incluidas en la EDM05, además de aquellas zonas localizadas en el área de influencia del SITP, el cual contempla la puesta en marcha del proyecto del Tren de Cercanías.

**Figura 3-1. Ámbito de estudio. Encuesta de Movilidad 2005.**



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad- DANE.2005

### 3.2 ZONIFICACIÓN

Dado que el estudio de referencia es el SITP del año 2007, el presente estudio realizará un tratamiento de la información con base en las 824 zonas en las cuales se encuentra dividido el ámbito de dicho estudio.

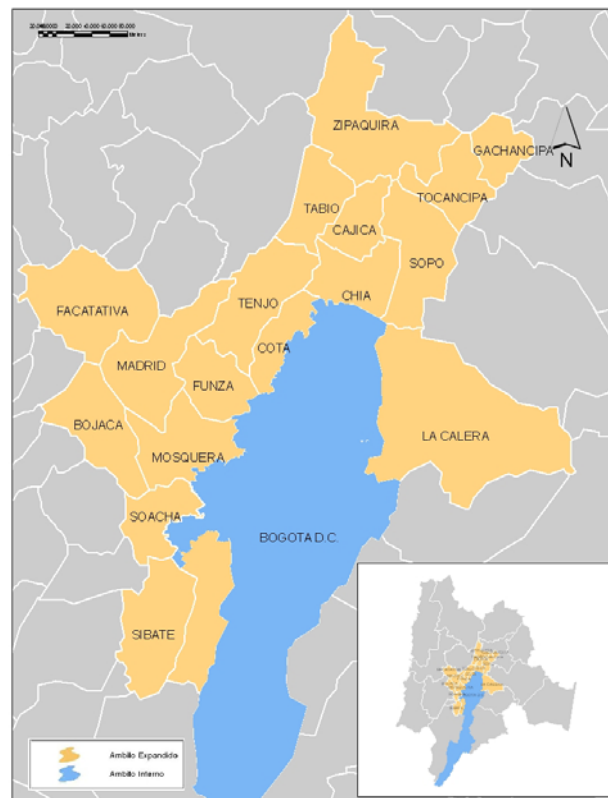
Tal y como se ha descrito en el documento de Diagnóstico del presente estudio, el ámbito corresponde al área de Bogotá, los 17 municipios metropolitanos y los municipios que conforman el Departamento de Cundinamarca. Dicho ámbito se divide en ámbito desagregado – correspondiente a Bogotá-

En este sentido hay que tener en cuenta que la información secundaria disponible requiere de un tratamiento de la zonificación, dado que existen diferentes niveles de desagregación de la misma. Es el caso de la información socioeconómica y demográfica del DANE, incluida en la Encuesta de Movilidad del año 2005, la cual recoge datos por sectores censales que corresponden a 635 zonas del total del ámbito. De otra parte, la información de transporte proporcionada por TransMilenio, la cual se encuentra dividida en

661 zonas<sup>2</sup>. Esta división corresponde a la necesidad de contar con un nivel de desagregación mayor para el municipio de Soacha, dividiendo la originalmente zona 635 (correspondiente al municipio) en un nuevo total de zonas de transporte igual a 25.

Por tal razón el presente estudio ha considerado la correspondencia entre zonas que se ha realizado en el estudio del SITP, y se ha verificado cada una de las zonas y su correspondencia geográfica con los demás niveles en que se encuentra la información como son municipio, localidad, UPZ y sector DANE, tal como se presenta en detalle en el anexo B.

**Figura 3-2 Zonificación del estudio Metro**



*Fuente: Elaboración propia a partir de Diseño técnico, legal y financiero del SITP 2008*

Es importante anotar que se ha utilizado el software ArcGIS como herramienta gráfica para la intersección y georeferenciación de las distintas fuentes analizadas, dando como resultado la tabla de correspondencias utilizada para el posterior análisis de la información socioeconómica y de movilidad previsto en el presente producto.

<sup>2</sup> El procedimiento para llegar a las 661 zonas se describe detalladamente en el Informe del Diseño Técnico de Detalle del estudio SITP-2008

**Tabla 3-1. Ejemplo de Correspondencia entre Zonas**

ZONA_EMOD	EXTERNA	ID_UPZ	LOCALIDAD
1	0	201	SUBA
2	0	3	SUBA
3	0	1	USAQUEN
4	0	2	SUBA
5	0	1	USAQUEN
6	0	1	USAQUEN

Fuente: Estudio SITP.2008

### 3.3 ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE PARTIDA – SITP 2007

El modelo disponible en EMME y facilitado por el cliente está compuesto por los siguientes elementos:

- Matriz de vehículo privado para el año 2007
- Matriz de Transporte Público colectivo para el año 2007
- Redes de Transporte y funciones asociadas

Con el objeto de determinar la metodología más adecuada para la actualización y calibración del modelo al año base 2008, se hizo necesario un análisis previo y validación de dichos elementos a fin de determinar la fiabilidad y nivel de aprovechamiento de la información de partida así como los métodos de actualización más adecuados.

#### 3.3.1 MODELO DE TRANSPORTES SITP 2007

Se ha usado el escenario 7713 del SITP, definida en su versión original, sin explotar, por 2.217 nodos regulares, 11.166 arcos, y 824 centroides acordes con las matrices de viajes definidas.

Sobre esta red se han definido 17 modos de transporte con 32 tipos de vehículos.

En esta red se definen los parámetros necesarios para desarrollar la modelación, los parámetros de entrada al proceso y se almacenan resultados de salida del propio proceso, tanto en las variables fijas de los distintos elementos de la red, como en atributos extra definidos en el modelo.

##### 3.3.1.1 Modos

Los modos definidos para el transporte privado son los autos y camiones, mientras que para los modos de transporte público, es sus modos directos y auxiliares son el resto de 15 modos, definiendo los distintos tipos de transporte público y sus conexiones en transbordos y pago de tarifas.

Estos modos definidos son utilizados por los siguientes tipos de vehículos definiendo sus características funcionales:

**Tabla 3-2 Modos y vehículos definidos en el modelo SITP 2007**

Modo	Descripción	Tipo	Vehículo	Modo	Descripción	Autos equivalentes	Capacidad	Flota		
Mode	Description	Type	Veh	Mode	Description	Auto equ.	CapS	CapT	Fleet	(
c	coche	auto	1	b	bus_normal	2.00	30	30	1000	
b	bus	transit	2	b	buseta_a	1.80	20	30	1000	
p	pie	aux. transit	3	b	estandar	2.80	50	100	1000	
e	salida_tm	aux. transit	4	b	busnormal	2.30	30	60	20000	
f	tarifa_tm	transit	5	a	Alimenta	2.50	30	80	1000	
v	alim_piso	transit	6	t	articulado	3.00	48	160	1200	
t	transmil	transit	8	b	microbus	1.00	15	15	999	
i	tf_ali-TM	transit	9	b	btm-micro	1.50	22	22	999	
j	tf_TM-ali	aux. transit	10	b	bus-bta	2.00	45	45	999	
a	alim_tm	transit	11	b	bus-bta-mi	2.00	35	35	999	
x	entrad_ali	aux. transit	12	b	bus-bta	2.00	40	40	999	
y	salida_ali	aux. transit	13	b	bus-bta	2.30	60	60	999	
s	pretroncal	transit	14	b	bus-bta	2.20	55	55	999	
d	complement	transit	15	b	bus-bta	2.20	50	50	999	
u	auxiliar	transit	16	b	bus-micro	2.20	50	50	999	
k	camiones	aux. auto	17	b	bus-bta	2.00	35	35	999	
l	Intermunic	transit	18	b	bus-g	2.50	70	70	999	
			19	b	bus-bta-mi	1.50	20	20	999	
			20	l	mic Intern	1.00	15	19	999	
			22	b	bus-ejec	2.00	40	40	999	
			23	b	bus-c	2.20	50	50	999	
			24	b	bus-bta-mi	1.80	25	25	999	
			25	b	Extra-bus	3.00	36	96	999	
			26	l	Bus_Intern	2.30	30	72	999	
			30	t	Convoy	3.00	96	320	1000	
			31	t	Biarticula	3.00	80	240	1000	
			41	v	Aalim_piso	2.50	30	80	1000	
			42	f	tarifa_tm	0.00	99999	99999	99999	
			43	i	tf_ali-TM	0.00	99999	99999	99999	
			44	d	complement	2.00	45	45	99	
			45	u	auxiliar	3.00	90	90	99	
			46	s	pretroncal	3.00	90	90	99	

Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo SITP

### 3.3.1.2 Nodos

Los nodos definidos son de 3 tipos, 824 centroides correspondientes a las zonas definidas en las matrices como zonas de origen/destino de los viajes, y el resto se componen de los nodos regulares que sirven para articular la red, y los nodos regulares donde se ha definido una intersección específica, particularizando los movimientos de la misma

En los nodos se ha definido una serie de variables de reidentificación y almacenamiento en forma de atributos extra que permiten, tanto tomar datos de los mismos como almacenar datos en estos atributos.

Como ejemplo de la utilización de estos atributos, se presenta un mapa con las estaciones de TM en función del atributo @estac, que almacena un valor en los nodos que son estaciones del sistema TransMilenio

**Figura 3-3 Estaciones TransMilenio**



*Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo SITP*

### 3.3.1.3 Arcos

Los arcos se definen entre dos nodos, por lo cual quedan fijados por las coordenadas de los mismos.

Cada uno de los arcos tiene definidos unos modos concretos que se permiten circular por los mismos, así como un código que los clasifica por tipo, en función de la jerarquización diseñada en los estudios previos, clasificándose en conectores o arcos que conectan los centroides con la red vial, vías de tráfico mixto, ingresos y salidas de las estaciones, corredores troncales exclusivos y las conexiones inherentes a las estaciones definidas

Cada uno de los arcos tiene definidas unas funciones que permiten realizar los algoritmos de asignación al calcular el coste generalizado en cada uno de los arcos, lo que al final determina el camino a seguir entre dos centroides o la estrategia del viaje en el caso del transporte público

Además de define la longitud del arco y el número de carriles. En el caso específico de pretrocal en carril derecho se simula una reducción de carril, esto se aplica únicamente al escenario de año base, en el cual no se cuenta aún con la integración del SITP.

Así como los atributos fijos de los arcos, donde se almacena la capacidad por carril, y los múltiples atributos extras que permiten entrada y salida de datos., como por ejemplo, aforos, volúmenes, velocidades, tiempos recorrido, etc.

### 3.3.1.4 Giros en intersecciones

En el modelo calibrado al 2007 se cuenta con más de 340 intersecciones codificadas con restricciones de giros, de manera de representar las intersecciones viales de la forma más adecuada. Estas intersecciones se codifican en los nodos de la red especificando el movimiento desde una vía a otra como libre, con prohibición de paso o penalización.

### 3.3.1.5 Red de Transporte Público

Respecto al Transporte Público se han definido en esta red un total de 1.023 líneas de transporte público, tanto para el modo Troncal de TransMilenio, el Auxiliar y Colectivo, el Alimentador y el modo Intermunicipal.

Las líneas de transporte público se han definido por su recorrido y paradas en la red vial, se han codificado para poder identificarlas, se ha marcado el intervalo de paso o frecuencia de la línea, 3 ó 5 minutos, la velocidad de flujo libre 40 ó 25 Kph, el modo permitido para la ruta, el tipo de vehículo de la misma, el tiempo empleado en la terminal y el de paradas, así como la tarifa a pagar y su equivalente en Tiempo Generalizado.

### 3.3.1.6 Codificación del valor del tiempo

El modelo cuenta con los valores del tiempo calibrados para los cuatro grupos socioeconómicos así como el peso del valor del tiempo de espera. El peso del tiempo de caminata y de espera son iguales para todos los estratos. A continuación se presenta la tabla con los valores descrito anteriormente.

Grupo socioeconómico	Valor Subjetivo del tiempo	Peso del tiempo de espera	Peso del tiempo de caminata	Peso del tiempo de abordaje
GE	VST	Esperando	Caminando	Abordando
G1 (Estrato 1)	25	1.49	2	1
G2 (Estrato 2)	51	1.6	2	1
G3 (Estrato 3)	76	1.88	2	1
G4 (Estratos 4,5 y 6)	135	1.88	2	1

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo SITP 2007.

### 3.3.1.7 Tarifas

El modelo cuenta con valores de tarifa, que se implementan en las estaciones de TransMilenio a través de las denominadas Torres, las cuales permiten la integración entre los modos de transporte TransMilenio (t) y alimentadoras (a). Estas tarifas se muestran en la siguiente tabla, y describe el pago que realiza un individuo al cambiar de modo de transporte en una torre.



**Figura 3-4 Tarifas implementadas en estaciones de TM**

Nuevas Tarifas							
t	mode-to-mode	p	a	b	t	u	l
c	DENTRO DE ESTACIONES PARA ESCENARIO BASE						
a	p	0	13	0	13	13	0
a	a	13	13	13	13	13	13
a	b	0	13	0	13	13	0
a	t	0	0	0	0	0	0
a	u	0	0	0	0	0	0
a	l	0	13	0	13	13	0

Fuente: datos SDM en banco EMME

En el caso de los autobuses de transporte colectivo clásico (modo b) y autobuses de servicios interurbanos (l), estos implementan el valor de la tarifa a través de un atributo de línea de servicio llamado @tarif. El valor de la tarifa de autobuses varía entre 1000 y 1200 pesos.

### 3.3.2 MATRIZ DE TRANSPORTE PRIVADO – SITP 2007

La matriz de transporte privado del SITP es el resultado de diversas actualizaciones y mejoras de una matriz inicial generada en el estudio del Plan Maestro de Transporte de JICA de 1995. Estas actualizaciones se han realizado en el marco de diversos estudios y trabajos de movilidad llevados a cabo y cuyas conclusiones y resultados obtenidos dan idea sobre la validez de los propios datos (ver Anexo D)

A continuación se realiza un resumen de las principales conclusiones extraídas de cada uno de los trabajos.

- **Estudio para la reformulación del Plan Vial de Transporte y de Espacio Público Peatonal del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.**
- El propio estudio indica:
  - “...El modo de transporte ha sido un factor que se ha empleado para determinar matrices separadas. Es decir asumiendo una partición modal inicial con la que se calibran dos modelos, por un lado el de transporte público y por otro el de vehículo privado...”
  - “...La información existente correspondiente a vehículo privado se encuentra menos documentada que la de transporte público. La matriz empleada como base para el modelo fue suministrada por la STT y venía siendo utilizada para generar las precargas que afectan las velocidades del transporte público dentro de los ejercicios de modelación desarrollados dentro del marco del estudio denominado “Asistencia técnica a la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá para la reorganización del sistema de transporte público colectivo - 2002, Unión Temporal Logitrans Logística e Ingeniería de Transporte Ltda. y Logit Logística Informática e Transportes Ltda.”. Esta matriz tiene su origen en el estudio del Plan Maestro de Transporte del año 1995 (JICA) modificada por el estudio del año 2002 Generación, modelación y simulación del comportamiento de Escenarios de Desarrollo Urbano construidos partir de las definiciones estratégicas y de los proyectos viales, urbanísticos y de transporte incluidos en el Plan de Ordenamiento Territorial para los diferentes horizontes del mismo, 2002, Modelística...”

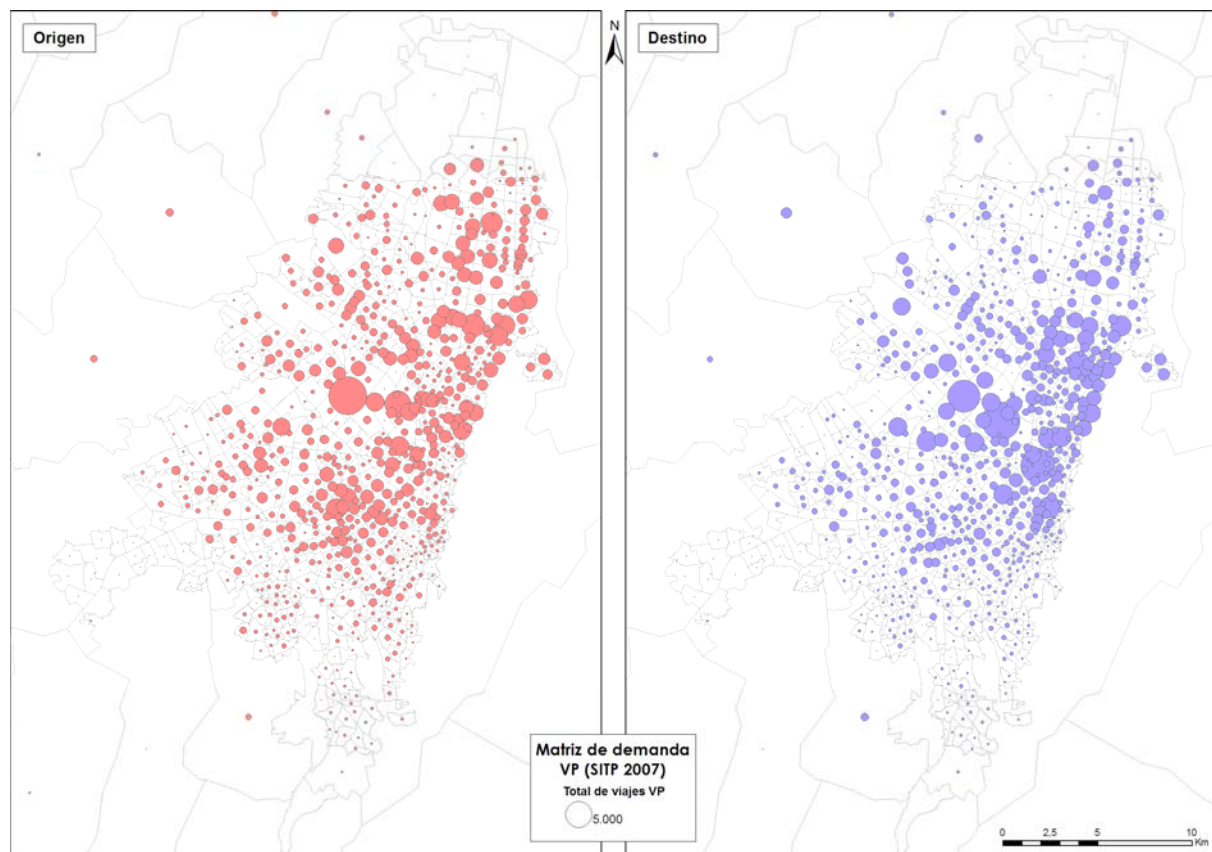
- **Trabajo de Validación de las matrices resultantes de la Encuesta de Movilidad mediante la Modelación de Transporte.**
  - Con respecto a la fuente de información referida a la Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2005 realizada por el DANE, este estudio informa que los resultados no se pueden tomar a nivel de sector censal.
  - “...La encuesta domiciliaria de 2005, principal referente para realizar los modelos, en el momento en que se elevan y se corrige la muestra da como resultado que en la etapa final de ajuste por confrontación de la matrices de viajes extraídas de la encuesta con los datos de aforos observados en la calle no resultó en un ajuste adecuado para la zonificación detallada de 641 zonas, debido a la estructura de distribución de las matrices, principalmente la de transporte privado, que es de muy baja calidad”...
  - “...Estos resultados se deben a la distribución de viajes encuestados. La matriz extraída de la encuesta presenta una estructura de distribución extremadamente pobre, donde los viajes están concentrados en muy pocos pares OD...”
  - Es por todo ello que trabajar con una matriz a nivel zonal proveniente de esta encuesta no sería tampoco un buen referente.
- **Actualización y validación de las Matrices de transporte público y revisión de la base de datos de oferta física y operativa del modelo de transporte de la ciudad de Bogotá**
  - La calibración del modelo consistió en reproducir los volúmenes vehiculares observados en campo y los tiempos de recorrido recabados para los principales corredores. Para ello se ubicaron como de control a los puntos en los cuales se recopilaban datos de conteos, con el fin de garantizar la reproducción de los volúmenes observados en el periodo de simulación
  - Para el transporte privado se realizó la asignación para el periodo de modelación de una única matriz vehicular, la cual se estimó actualizando mediante un proceso iterativo, la matriz de viajes de pasajeros contenida en el modelo inicialmente recibido por el consultor. Mediante la aplicación de la tasa promedio de ocupación vehicular observada para la zona de origen del viaje, se transformó la matriz a una de viajes vehiculares. La información de la tasa promedio de ocupación vehicular, se mantuvo igual respecto a la proporcionada por el modelo originalmente entregado por la entidad.
  - Es importante aclarar que el proceso de calibración mencionado se siguió hasta lograr el máximo nivel de representación de los volúmenes observados mediante el análisis de estrategias de caminos de viaje lógicos para los diferentes pares origen destino (OD).
  - Para la corrección de las matrices del transporte privado, se desarrolló una metodología fundamentada en la aplicación de factores de ajuste a la submatriz de usuarios que pasan por cada uno de los puntos de control ubicados sobre la red vial, de tal manera que esta alcance la magnitud del aforo referenciado de campo.
- **Diseño Técnico, Legal y Financiero del Sistema Integrado de Transporte Público para la ciudad de Bogotá D.C.**
  - La información básica utilizada en este estudio partió de los datos de los estudios “Actualización y validación de las matrices de transporte público y revisión de la base

de datos de oferta física y operativa del modelo de transporte de la ciudad de Bogotá” realizado por Cal & Mayor y Consultora DG y del “Estudio para la reformulación del plan vial de transporte y de espacio público peatonal del plan de ordenamiento territorial de Bogotá D.C.” contratado por el Departamento Administrativo Distrital de Planeación con Steer Davies Gleave.

- En el primer estudio se calibró una matriz origen destino de pasajeros para el año 2007 para el caso de transporte público. La matriz con un total de 658.730 viajes tiene un tamaño de 824 por 824 zonas y cubre la totalidad del área urbana y metropolitana de la ciudad. Esta matriz es la base de las proyecciones que se han realizado mediante un método de factor de crecimiento.
- El segundo estudio es utilizado puesto que contiene la información demográfica y socioeconómica relacionada con la población y empleo de la ciudad para 670 zonas de transporte, información que fue desagregada para las 824 zonas de la matriz de transporte público de manera que fueran compatibles para poder realizar las proyecciones de la matriz base.

A continuación se presenta la distribución de viajes en la matriz calibrada al 2007 incluida en el modelo de transporte del SITP.

**Figura 3-5 Distribución de viajes de VP en matriz calibrada al 2007**



Fuente: Elaboración Propia

Como puede observarse, la estructura de dicha matriz indica que las zonas del centro y el centro expandido son las que atraen mayor número de viajes.

Del análisis de los estudios realizados, el GC concluye que:

1. La matriz de transporte privado existente en el modelo del SITP es una matriz que únicamente intenta representar unas condiciones de red que se dan en la situación de hora pico para trasladárselas a la demanda de Transporte público y que no procede de observaciones reales de la movilidad. Por tal razón, el GC no considera el empleo de dicha matriz para el presente estudio, y procede a la construcción de una nueva.
2. Dado que el objetivo de este GC es reflejar la demanda futura que se dará en el metro de Bogotá en el que exista trasvase modal entre los diferentes modos (incluida la transferencia entre vehículos privados y transporte público) se requiere el empleo de una matriz que represente lo más fielmente la realidad de la demanda existente en este modo.
3. La mejor fuente para la construcción de esta matriz es la EDM 2005, a pesar de que la información que recoge sobre movilidad se encuentra a nivel individual y no a nivel zonal. No obstante se puede obtener una aproximación de la movilidad a nivel zonal tomando como base las pautas de movilidad de los individuos en la ciudad recogidos en la encuesta.
4. Por tanto, una matriz obtenida a nivel hogar a partir de la EDM 2005 resulta la mejor alternativa para generar la matriz de transporte privado del año 2008.

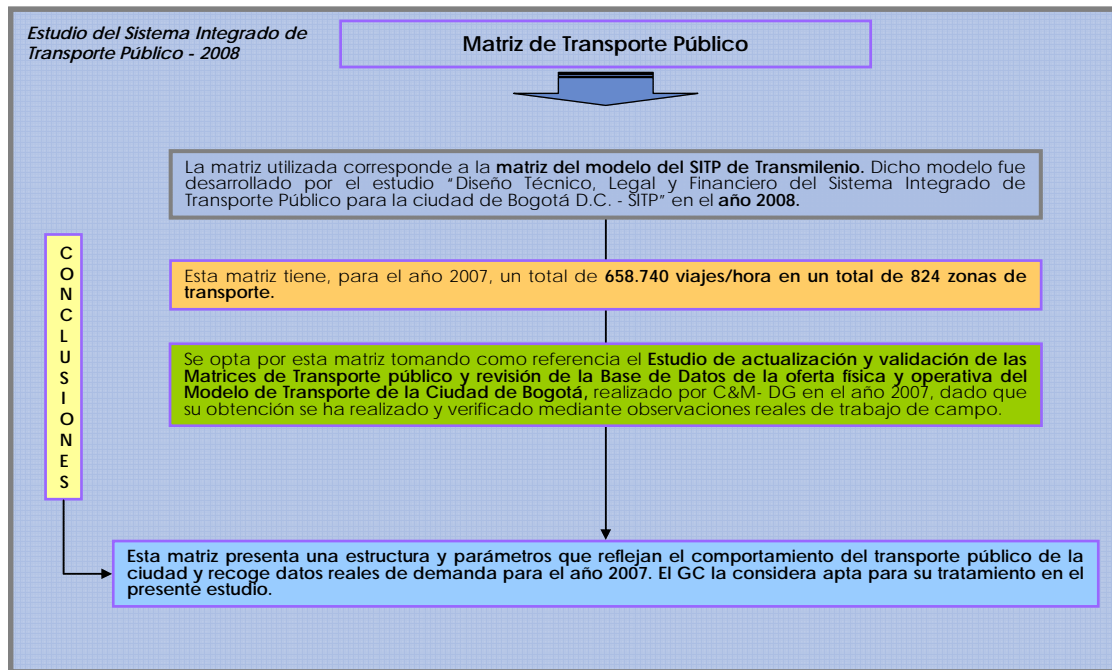
### **3.3.3 MATRIZ DE TRANSPORTE PÚBLICO – SITP 2007**

La matriz de transporte público proviene del modelo del SITP desarrollado el año 2007, el cual ha sido suministrado por la SDM. Dicho modelo fue desarrollado por el estudio “Diseño Técnico, Legal y Financiero del Sistema Integrado de Transporte Público para la ciudad de Bogotá D.C. - SITP” en el año 2008 y toma como referencia la matriz del Estudio de actualización y validación de las Matrices de Transporte público y revisión de la Base de Datos de la oferta física y operativa del Modelo de Transporte de la Ciudad de Bogotá, realizado por C&M- DG en el año 2007.

Esta matriz contiene para el año 2007 un total de 658.740 viajes/hora en un total de 824 zonas de transporte.

Dado que su obtención se ha realizado y verificado mediante observaciones reales de trabajo de campo y ha sido validada recientemente por el equipo del SITP, en el año 2008, el GC considera que esta matriz es válida ya que presenta una estructura y parámetros que reflejan el comportamiento del transporte público de la ciudad y recoge datos reales de demanda para el año 2007. El GC la considera apta para su tratamiento en el presente estudio.

**Figura 3-6 Validación de la Matriz de Transporte Público**



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 REDES DE TRANSPORTE

#### 3.3.4.1 Red Vial

La red vial en el modelo de simulación, fue entregada por la SDM y contiene la red vial disponible a la fecha, cuya verificación se realizó en el marco del estudio "Diseño Técnico, Legal y Financiero del Sistema Integrado de Transporte Público para la ciudad de Bogotá D.C. - SITP" en el año 2007.

Para el análisis de la red se parte de dos tipos de información:

- Información de la malla vial actualizada utilizada en el SITP que contiene datos detallados de las infraestructuras existentes al año 2006.
- Información de la malla vial compuesta por las principales vías de la ciudad de Bogotá, que contiene información detallada, actualizada al año 2008 y que contiene los nombres comunes de las vías existentes.

Las diferencias identificadas en la red, con la realidad, a través de comparación con las imágenes de orto fotos al 2008 se describe en el capítulo de calibración.

### 3.3.4.2 Red de Transporte Público

Teniendo en cuenta lo expuesto en el apartado anterior y de común acuerdo con la SDM, para la verificación de la información se parte de la red de transporte público actualizada al año 2008, incluida en el Modelo entregado por el cliente al GC.

El proceso de verificación consistió en la visualización geográfica del área de influencia de la red recibida y una comparación con las áreas de influencia de la red de transporte colectivo contenidas en los siguientes estudios:

**Tabla 3-3 Comparación de volúmenes del modelo y volúmenes aforados – Rutas de TransMilenio.**

Año	NOMBRE ESTUDIO	AUTOR	ENTIDAD CONTRATANTE	No. INFORME
2007	ESTUDIO DE LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA TRANSMILENIO	STEER DAVIS GLEAVE	TRANSMILENIO	27
2007	PLAN MARCO DEL SISTEMA TRANSMILENIO 2007	TRANSMILENIO S.A.	TRANSMILENIO	31
2008	DISEÑO TÉCNICO, LEGAL Y FINANCIERO DE SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.	Unión Temporal MTP	SECRETARÍA DE MOVILIDAD	38
2007	ACTUALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS MATRICES DE TRANSPORTE PÚBLICO Y REVISIÓN DE LA BASE DE DATOS DE OFERTA FÍSICA Y OPERATIVA DEL MODELO DE TRANSPORTE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ	DG Consultora - CAL Y MAYOR ASOCIADOS Contrato 153 de 2006	FONDATT – STT	30

Fuente: Documentación proporcionada por la SDM

En cada estudio se ha contrastado según el caso, con la información indicada en la siguiente tabla.

**Tabla 3-4 Comparación de volúmenes del modelo y volúmenes aforados – Rutas de TransMilenio.**

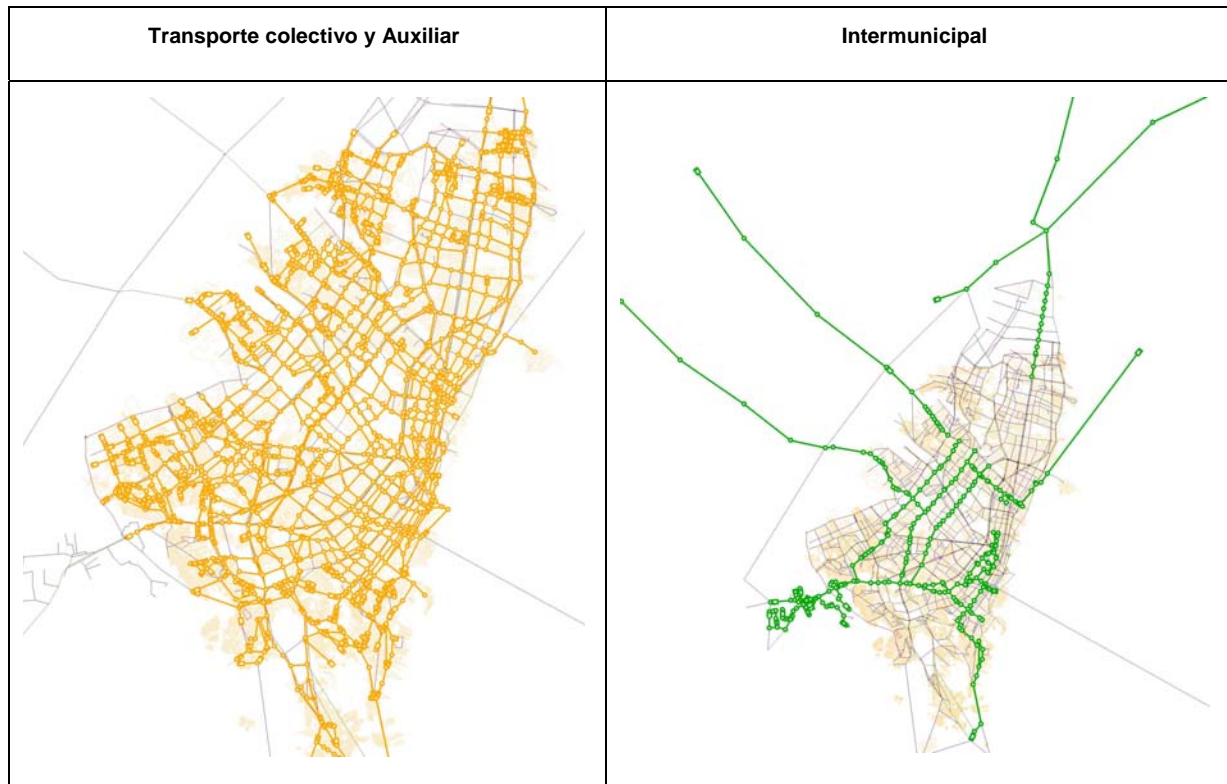
ESTUDIO	INFORMACIÓN CONTRASTADA
ESTUDIO DE LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA TRANSMILENIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presenta el recorrido medio de un servicio de TM por cada combinación de portales OD.</li> </ul>
PLAN MARCO DEL SISTEMA TRANSMILENIO 2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>Describe las características físicas y operacionales del TM, incluye proyecciones para Fase III.</li> </ul>
DISEÑO TÉCNICO, LEGAL Y FINANCIERO DE SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informe Línea Base: Oferta. Enumera 508 rutas de TPC y describe las longitudes del recorrido de cada una. Ocupación de los servicios de TM.</li> <li>Caracterización de corredores de TPC: Características físicas de las vías</li> <li>Informe Diseño Técnico de Detalle: Metodología. Describe los tipos de transporte públicos disponibles en el modelo EMME.</li> </ul>
ACTUALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS MATRICES DE TRANSPORTE PÚBLICO Y REVISIÓN DE LA BASE DE DATOS DE OFERTA FÍSICA Y OPERATIVA DEL MODELO DE TRANSPORTE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contiene la lista de rutas de transporte público disponibles para el 2007 por la SDM en donde se enumeran 522 rutas.</li> </ul>

Fuente: Documentación proporcionada por la SDM

Como resultado de la comprobación efectuada, se puede concluir que a pesar de presentarse un número diferente de rutas totales en cada estudio, el área cubierta por las mismas es similar en todos los casos.

Además, la red proporcionada por el cliente contiene la información más actualizada disponible en la Administración en materia de infraestructura vial.

**Figura 3-7 Representación Red Modo Transporte colectivo**

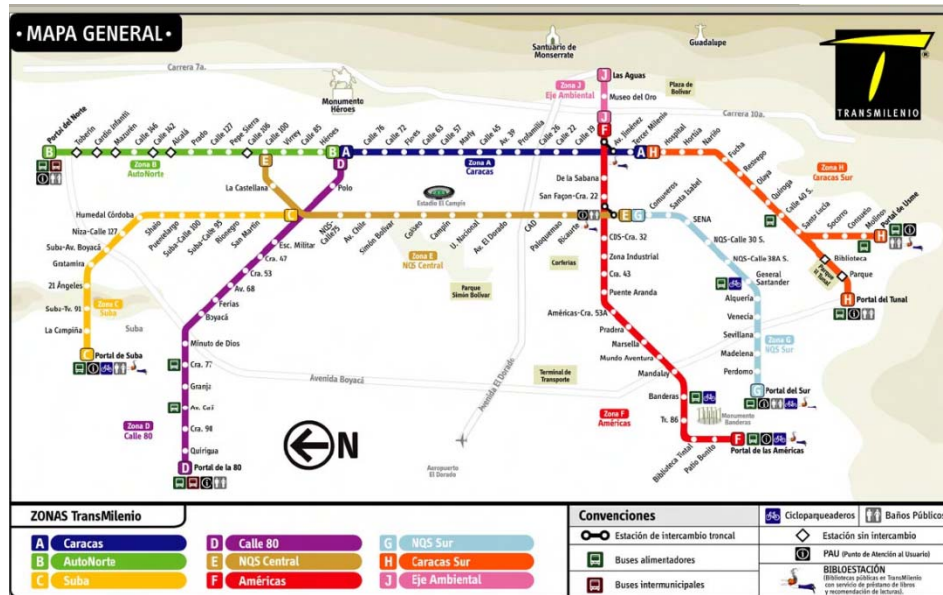


*Fuente: Elaboración propia a partir del Emmebank*

#### 3.3.4.2.1 Rutas del sistema TransMilenio

Se identifican dos tipos de rutas en la base de datos del modelo en EMME: Troncales TransMilenio y Alimentadoras. En el caso de las troncales se ha comprobado aleatoriamente con algunos de los servicios actuales de TransMilenio disponibles.

Figura 3-8. Mapa esquemático de las líneas de TM



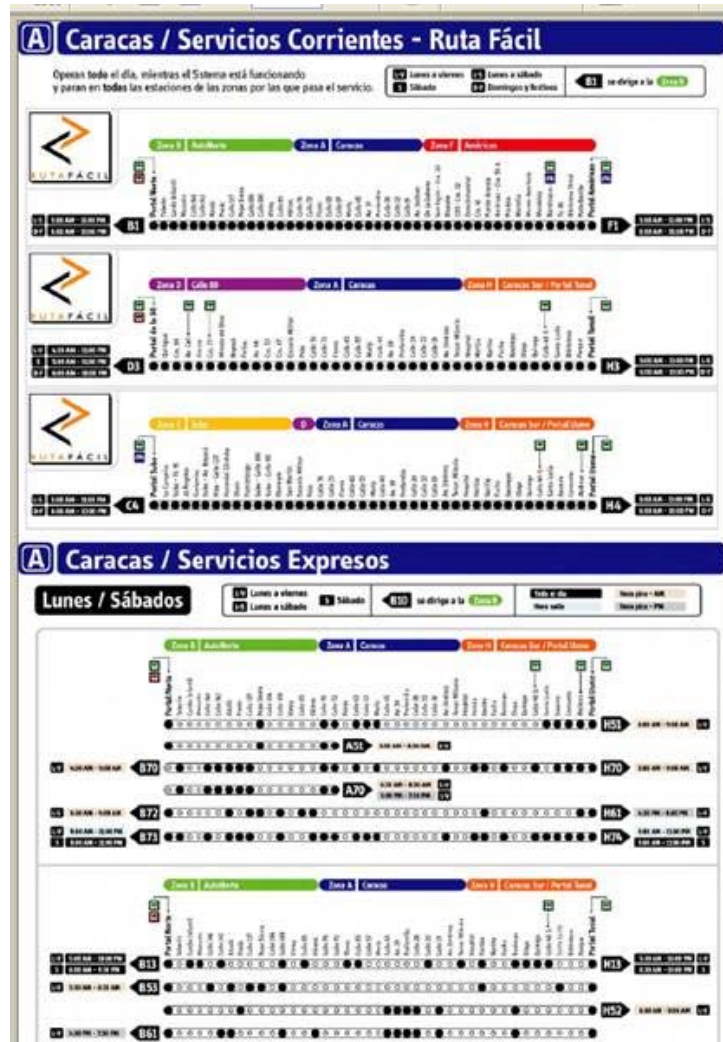
Fuente: TransMilenio S.A.

Para realizar la comprobación se ha partido del estudio *Diseño Técnico de detalle: Anexo 1 - Manual del Usuario del estudio DISEÑO TÉCNICO, LEGAL Y FINANCIERO DE SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.* El procedimiento se describe a continuación:

- Se han identificado los nodos representativos de los portales de TM y comparado las redes que los unían con los servicios publicados en la página oficial de TM.
- Se ha verificado además la existencia de rutas con igual recorrido a otras, pero con menor número de paradas, que indican los servicios expresos.
- Los servicios usados para comparar han sido los que operan en la hora punta de la mañana (coherente con la matriz de Origen – Destino en el modelo EMME).



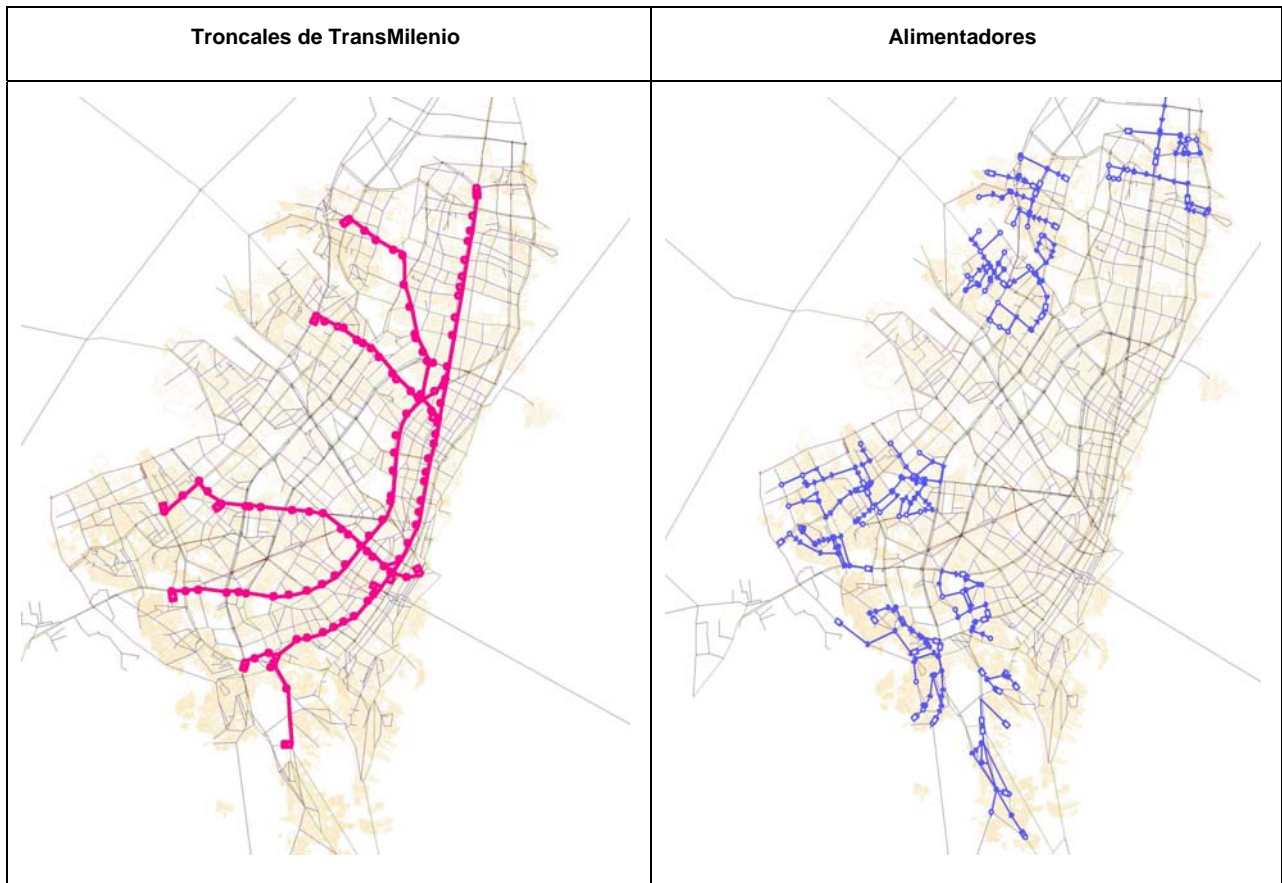
Figura 3-9. Extracto de tabla de servicios para la Zona Caracas de TM



Fuente: TransMilenio S.A.

Respecto al Transporte Público el modelo cuenta con una red un total de 1.009 líneas de transporte público, tanto para el modo Troncal de TransMilenio, el Auxiliar y Colectivo, el Alimentador y el modo Intermunicipal

**Figura 3-10 Representación Red Modo TransMilenio y Alimentadores**

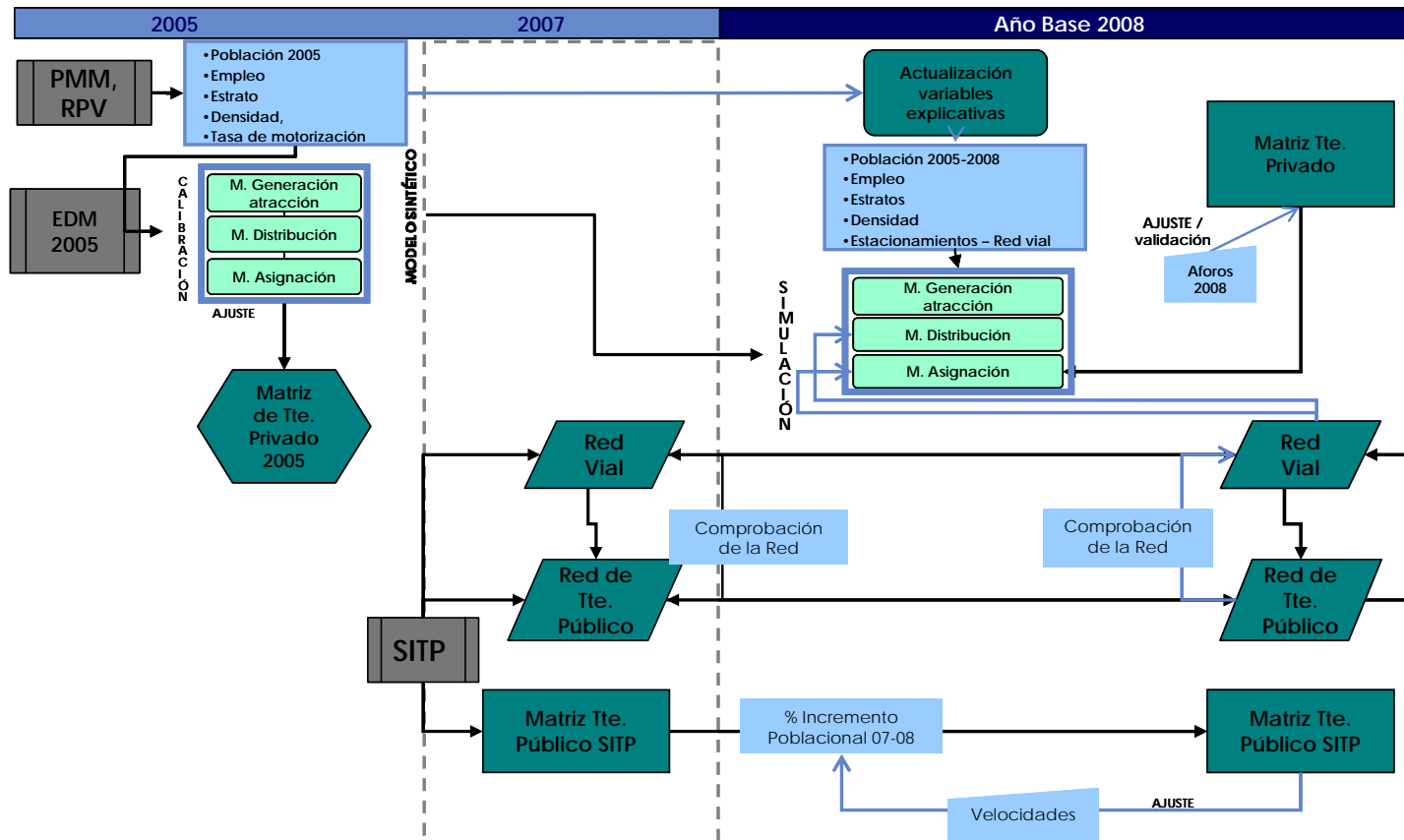


Fuente: Elaboración propia a partir del Emmebank

### 3.4 ESQUEMA METODOLÓGICO

Las razones expuestas en el punto anterior, llevan al GC a dibujar un esquema metodológico para la obtención de las matrices de transporte público y privado y la actualización del modelo EMME para el año 2008, tal y como se presenta en la figura siguiente:

Figura 3-11 Esquema Metodológico obtención año Base



En los apartados siguientes se describe en detalle cada uno de los elementos del Esquema Metodológico propuesto incluyendo los principales resultados obtenidos.

### **3.5 ACTUALIZACIÓN DE DATOS SOCIOECONÓMICOS Y DE MOVILIDAD AL AÑO 2008**

Este apartado presenta la información utilizada para la actualización de las matrices contenidas en el modelo de transporte existente, a partir del análisis y actualización (cuando los datos asumidos así lo han permitido) de las variables explicativas y de la movilidad.

- Variables independientes: datos socioeconómicos
- Variables dependientes : datos de movilidad

A continuación se presentan la metodología de actualización de los datos y los resultados para cada tipo de variables.

#### **3.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES: DATOS SOCIOECONÓMICOS**

Se busca actualizar los datos socioeconómicos del área de estudio a partir de las diferentes fuentes oficiales disponibles, entre ellas:

- Los Organismos regionales: Secretaría de Planeación de Cundinamarca, Secretaría de Planeación Distrital, TransMilenio S.A., de donde se ha obtenido toda la información de planeación territorial existente para Bogotá D.C. y los municipios vecinos.
- El DANE, de donde se han tomado datos de la Encuesta de movilidad del 2005, el Censo de Población del año 2005 y la Encuesta de Calidad de Vida de Bogotá D.C. del año 2007, “Proyecciones de Población para Bogotá D.C., por Localidades, desagregadas por Sexo y edades simples de 0-24 Años y grupos quinquenales de Edad para el Periodo 2000-2015 y Viviendas y Hogares” del 13 de junio de 2008.
- El Ministerio de Transporte, de donde se han tomado las estadísticas sobre el parque automotor a nivel nacional
- La Cámara de Comercio de donde se ha obtenido la información económica de la ciudad de Bogotá y el área metropolitana.
- El Departamento Nacional de Planeación – DNP, en donde se han consultado las estadísticas y proyecciones de las variables macroeconómicas.

Los indicadores analizados son los relativos a las características de la población y a la economía regional, destacando los siguientes:

- Población: Evolución, densidad, estratificación, etc.
- Caracterización de los hogares: Número de personas por hogar, Número de hogares de vivienda
- Nivel educativo: Nivel de estudios

- Indicadores económicos: PIB, IPC, Ingresos, Fuerza laboral
- Parque automotor
- Usos del suelo: actividades

El análisis realizado ha partido de la información disponible tanto para el año 2005 como para el periodo 2007 - 2008, ya sea en calidad de estadística oficial registrada o proyectada con el fin de construir la información necesaria para el desarrollo del escenario base del modelo (2008) y las proyecciones de las variables clave para la definición de escenarios futuros de simulación.

La elaboración de mapas temáticos se ha basado en la cartografía suministrada por el cliente, contenida en su mayoría en:

- Base cartográfica del Plan de Ordenación Territorial POT
- Base cartográfica del Plan Maestro de Movilidad – PMM
- Cartografía proveniente de TransMilenio
- Cartografía de la Secretaría de Planeación Distrital

### 3.5.1.1 Población

Los datos de población registrados en el DANE corresponden al Censo liberado del año 2005. No obstante existen proyecciones de población para el ámbito de estudio hasta el año 2015 elaboradas por la SDP y el DANE. Es así como los datos relativos a las localidades de Bogotá D. C. y a sus municipios vecinos están actualizados al año 2008 de acuerdo con las proyecciones recibidas de la SPD, contenidas en el documento “Proyecciones de Población para Bogotá D.C., por Localidades, desagregadas por Sexo y edades simples de 0-24 Años y grupos quinquenales de Edad para el Periodo 2000-2015 y Viviendas y Hogares” del 13 de junio de 2008, realizadas por el DANE en el marco de un convenio inter-administrativo con la Secretaría de Planeación Distrital ejecutado en el año 2008, en el cual se han revisado las proyecciones existentes para Bogotá D.C. y 17 de los municipios aledaños más importantes.

Esta información incluye previsiones de población con diferentes niveles de desagregación. En el caso de Bogotá cuenta con datos para UPZ y localidades. En el caso de los 17 municipios aledaños a Bogotá se dispone de la población total para cada uno.

Se han considerado igualmente las proyecciones realizadas para el estudio del Plan Maestro de Movilidad en el año 2006 cuyas fuentes han sido según la zona:

- Para la zona urbana, DAPD información directa hasta el año 2020;
- Para los municipios, Mesa de Planificación Regional Bogotá-Cundinamarca hasta 2020;

Las proyecciones más recientes disponibles tienen alcance hasta el 2015, sin embargo el diseño del sistema de transporte masivo, contempla un horizonte de treinta años (2008 al 2038), por lo cual ha sido necesario por parte del GC completar dichas proyecciones para el periodo 2016 al 2040, para contar con datos específicos para los años 2008, 2018, 2028 y 2038. Estos datos se recogen en los escenarios de modelación que se describirán en el Producto 4 de la presente consultoría.

Para determinar los totales de población se han definido procedimientos diferentes según la ubicación de cada zona dentro del ámbito de estudio. Las tres zonas se han agrupado como sigue a continuación:

- Zona Urbana de Bogotá D.C.,
- 17 Municipios aledaños,
- Resto de municipios.

Esta agregación responde a la información de partida disponible, y al grado de incidencia en la movilidad de Bogotá mediante la generación de demanda de transporte.

Tomando las fuentes citadas, se realiza la distribución zonal de las previsiones para cada una de las 824 zonas de transporte que conforman el estudio. Para ello se calculan totales por zonas más agregadas como son Municipios y localidades que luego son desagregados según la distribución zonal desarrollada en el Plan Maestro de Movilidad.

A fin de facilitar la lectura, los cálculos más detallados se encuentran en el anexo C del presente documento y a continuación se presenta un resumen metodológico y de resultados de cada uno de los cálculos. Los totales definitivos de población para cada zona son el resultado de la distribución geográfica, y se ven en los resultados de dicho análisis.

Los resultados provenientes de las proyecciones de la SDP para el ámbito de estudio se resumen en las siguientes tablas.

**Tabla 3-5. Total de población 2008 para el ámbito de estudio**

Zona	2008
Bogotá DC	7.155.052
17 Municipios	1.205.979
Resto de Cundinamarca	1.191.532
<b>TOTAL POBLACIÓN</b>	<b>9.552.563</b>

*Fuente: Elaboración propia a partir de Proyecciones de la SDP*

Los totales de población para cada uno de los municipios es entonces la siguiente:

**Tabla 3-6. Total preliminar de población 2008 - 17 municipios**

Municipios	2008	Municipios	2008
Bojacá	9.653	Mosquera	68.891
Cajicá	48.817	Sibaté	33.661
Chía	106.355	<b>Soacha</b>	<b>433.992</b>
Cota	21.377	Sopo	22.841
Facatativá	114.943	Tabio	22.637
Funza	65.644	Tenjo	18.936
Gachancipá	11.895	Tocancipá	26.434
La Calera	24.943	Zipaquirá	107.918
Madrid	67.042		
<b>TOTAL POBLACIÓN</b>		<b>1.205.979</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

Los totales de población para cada uno de los municipios es entonces la siguiente:

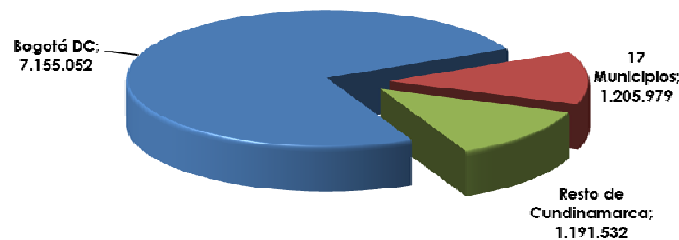
**Tabla 3-7. Total preliminar de población 2008 - Resto de Cundinamarca**

Subregión	2008
MEDINA, SAN PEDRO DE JAGUA, PARATEBUENO	17.493
GACHETA, GUASCA, GAMA, JUNIN, UBALA, GACHALA	53.317
TIBIRITA, MACHETA, MANTA, CHOCONTA, VILLAPINZON	52.886
SUSA, UBATE, FUQUENE, SIMIJACA, GUACHETA, CUCUNUBA, SUTATAUSA, TAUSA, LENGUAZQUE, CARMEN DE CARUPA	114.892
TOPAIPI, PAIME, EL PENON, PACHO, VILLAGOMEZ, LA PALMA, SAN CAYETANO, YACOPI	74.791
PUERTO SALGAR, QUEBRADANEGRA, CHAGUANI, UTICA, CAPARRAPI, GUADUAS	80.448
SESQUILE, GUATAVITA, NEMOCON, COGUA, SUESCA	64.232
LA VEGA, SAN FRANCISCO, EL ROSAL, SUPATA, SUBACHOQUE	55.773
VERGARA, NOCAIMA, VIANI, BITUIMA, SAN JUAN DE RIOSECO, LA PENNA, NIMAIMA, SASAIMA, ALBAN, GUAYABAL DE SIQUIMA, ANOLAIMA, VILLETA	102.317
GIRARDOT, AGUA DE DIOS, RICAURTE, TOCAIMA, NARINO, GUATAQUI, JERUSALEN, NILO, BELTRAN, PULI	165.551
QUETAME, CHIPAQUE, FOSCA, CAQUEZA, UNE, GUTIERREZ, GUAYABETAL	55.557
FOMEQUE, UBAQUE, CHOACHI, LA CALERA	29.819
TENA, SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA, ZIPACON, ANAPOIMA, APULO, QUIPILE, CACHIPAY, LA MESA, EL COLEGIO, VIOTA	126.304
SILVANIA, TIBACUY, FUSAGASUGA, CABRERA, VENECIA, SAN BERNARDO, PASCA, ARBELAEZ, PANDI	190.764
RURAL DE GRANADA	7.388
<b>Total resto CDM</b>	<b>1.191.532</b>

Fuente: Elaboración propia

En términos porcentuales, la capital representa el 75% de la población total del ámbito ampliado, Soacha el 4.5% y el resto de los municipios el 12.5% restante, lo que indica claramente que Soacha destaca sobre el resto de municipios por su peso poblacional además de la continuidad urbana con la ciudad.

**Figura 3-12 Población en el ámbito de estudio**

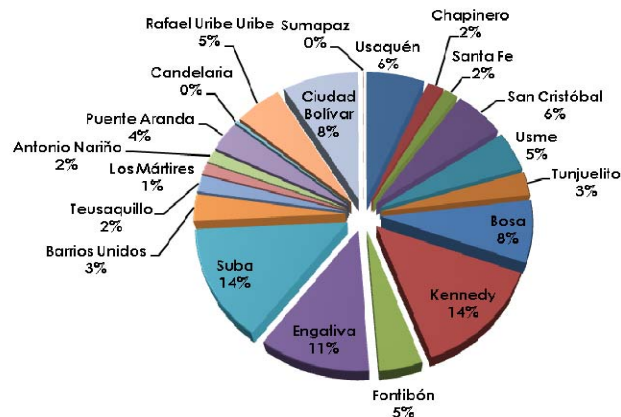


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la SDP

Según las proyecciones de la SDP para 2008, sobre la ciudad de Bogotá se observa a nivel de localidades que las mayores concentraciones de población están presentes en Kennedy con el 13.88% del total, seguida de cerca por Suba que cuenta con 13.77% y en tercer lugar Engativá con 11.46%; en su conjunto, las tres representan el 53.29% de los habitantes de la capital. Entre aquellas que cuentan con menor población se encuentran La Candelaria con 0.39% y Sumapaz con 0.09%, destacando que ésta última localidad es considerada de carácter rural. Sin embargo, Bosa, Usaquén y Usme, han aumentado considerablemente su población entre 1973 y 2008, manteniendo esta tendencia en los últimos tiempos.

Caso contrario es el de otras localidades como Los Mártires o La Candelaria, que han visto menguar su población (en torno al 30% entre 1973 y 2005)

**Figura 3-13 Distribución de la población por localidades el ámbito Bogotá**

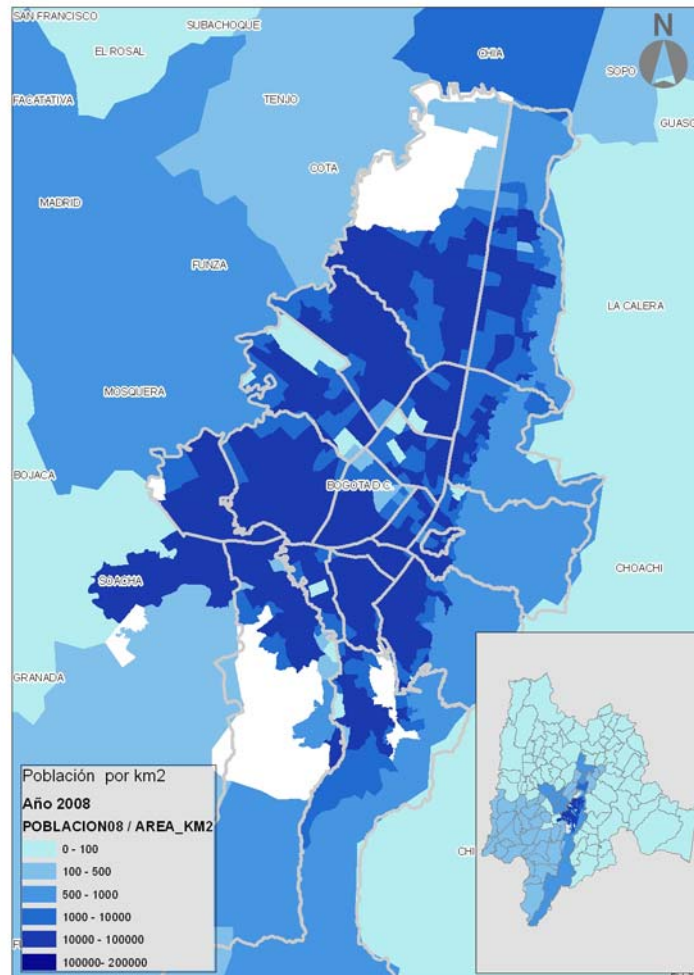


*Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la SDP*

Para realizar la distribución de la población en las zonas de transporte, se ha tomado como referencia la zonificación del PMM y se ha realizado una distribución de la población en la misma proporción de la proyección que el Plan Maestro de Movilidad tiene para el año 2008. Esta información permite obtener un comportamiento demográfico con el nivel de desagregación requerido para las 824 zonas del modelo, y el error marginal de su cálculo es muy reducido ya que el GC ha realizado las respectivas comprobaciones gráficas y geográficas de los datos. La distribución zonal de la población para el año 2008 se encuentra desagregada en el anexo C del presente documento.



**Figura 3-14 Distribución de la población 2008 el ámbito de estudio**



*Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la SDP*

De otra parte, y de acuerdo con lo previamente analizado en el diagnóstico, la caracterización socioeconómica de Bogotá D.C. puede realizarse en torno a seis estratos, clasificación que nace de la necesidad de agrupar la población en función de su capacidad de pago a la hora de realizar los cobros diferenciales de los servicios públicos domiciliarios.

La estratificación urbana fue actualizada por el Decreto 200 del 30 de junio de 2004, tomando como variables la presencia de vivienda, las vías de acceso, el tamaño del frente, el andén, el antejardín, la presencia de garajes, las fachadas y techos.

El contexto urbanístico de las viviendas se califica a través de la zonificación de cada manzana en veinte (20) zonas agrupadas en once categorías o zonas generales caracterizadas por un conjunto de aspectos de hábitat: usos de suelo, planeación del asentamiento, materiales de construcción, densidad inmobiliaria, estado de culminación de desarrollo, entorno inmediato de la vivienda, calidad del espacio público, grado de deterioro de la edificación y en general paisaje urbano.

Dicha estratificación se resume en la tabla siguiente.

**Tabla 3-8. Definición de la Estratificación**

Nombre	Estrato Predominante
1	Pobreza
2	En desarrollo progresivo sin consolidar
3	En desarrollo progresivo consolidado
4	Residencial intermedio
5	Residencial exclusivo -
6	Residencial exclusivo + y/o residencial de baja densidad

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DNP

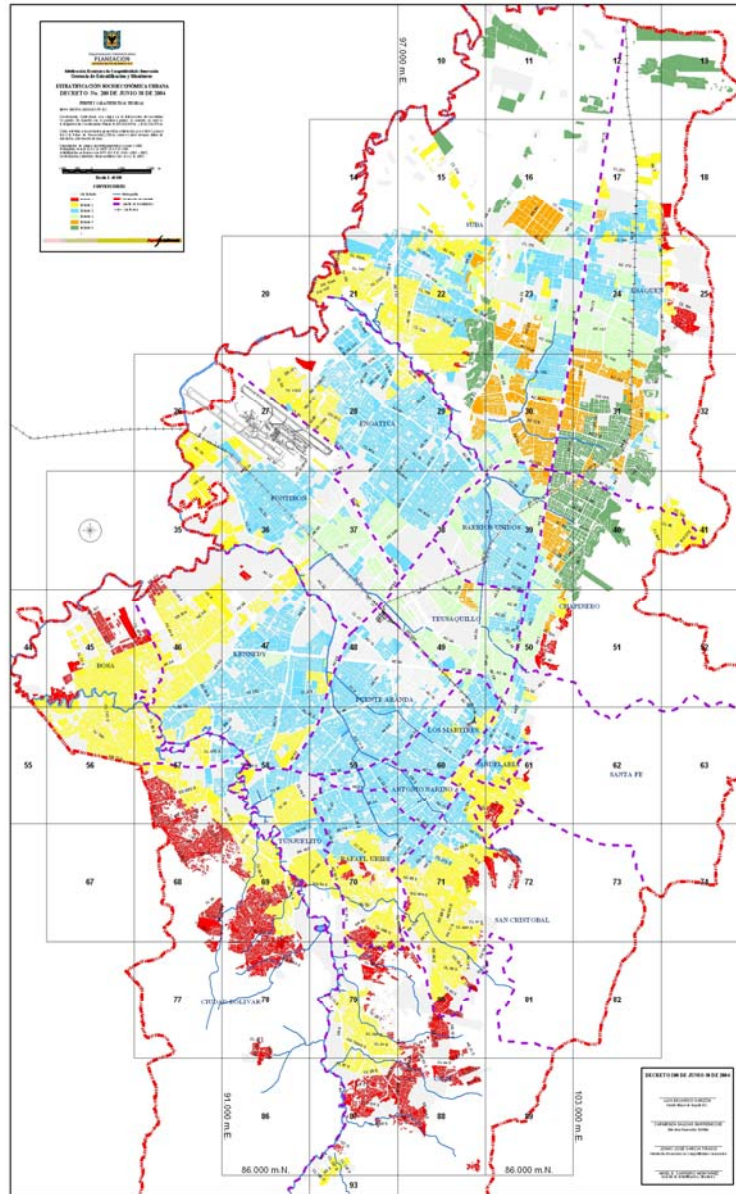
Particularizando en el ámbito del presente estudio, se observa que Bogotá D.C. tiene el estrato 2 como estrato predominante, al igual que en los municipios de Cota, Fusagasuga, La Calera, Madrid, Mosquera, Sibaté, Silvana, Sopó y Tocancipá. En los municipios de Bojacá, Chía, Facatativa, Funza, Gachancipá, La Mesa, y Tenjo predomina el estrato 3, mientras que en los más alejados de la zona urbana del Distrito Capital predomina el estrato 1.

**Tabla 3-9. Estratificación del ámbito de Estudio**

Nombre	Estrato Predominante	Nombre	Estrato Predominante
Bogotá D.C,	2	Madrid	2
Bojacá	3	Mosquera	2
Cajicá	1	Sibaté	2
Chía	3	Silvania	2
Cota	2	Soacha	2
Facatativá	3	Sopó	2
Funza	3	Tabio	1
Fusagasugá	2	Tenjo	3
Gachancipá	3	Tocancipá	2
La Calera	2	Zipaquirá	3
La Mesa	3		

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DNP

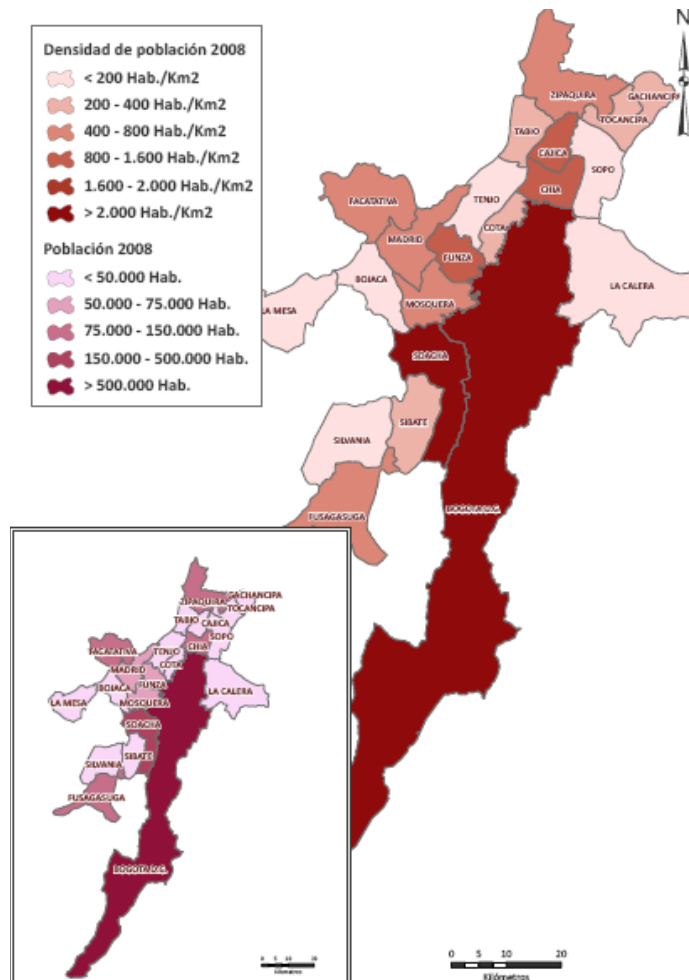
Figura 3-15 Estratificación de Bogotá.



Fuente: DAPD-2004

Como consecuencia del paulatino aumento de la densidad de población en el área de estudio, se observa que Bogotá D.C. y Soacha son las zonas con mayor densidad de población del área de estudio, alcanzando niveles superiores a los 2.000 hab/km<sup>2</sup>.

**Figura 3-16 Densidad de población en el área de estudio. 2008**



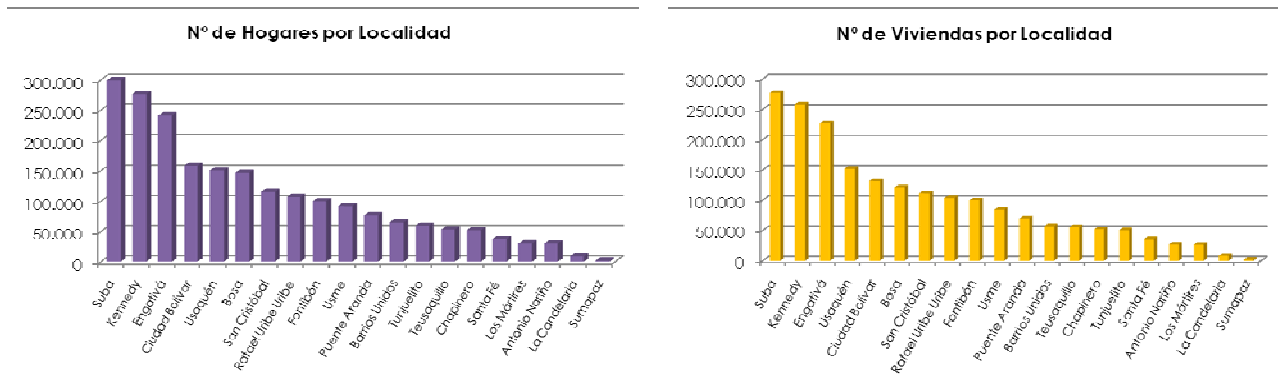
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE.

### 3.5.1.1.1 Caracterización de la población por viviendas y hogares

Otros datos disponibles son el número de hogares y el número de viviendas para el ámbito de Bogotá D.C, información existente en la Secretaría de Planeación Distrital. En el caso del ámbito ampliado del estudio correspondiente al resto de zonas de análisis, se cuenta con la información de la Secretaría De Planeación de Cundinamarca.

De acuerdo con la información disponible, la población residente en el ámbito de estudio se distribuye en algo más de 2,25 millones de viviendas, de las cuales cerca del 86% están situadas en las localidades de Bogotá D.C y el 14% restante en los municipios aledaños, tal y como se detalla más adelante.

**Figura 3-17 Distribución de Hogares y Viviendas por localidades el ámbito Bogotá**



Fuente: Elaboración propia a partir de las proyecciones de la SDP-DANE 2008

Como se observa en los gráficos anteriores, Suba, Kennedy, Engativá, Usaquén, Ciudad Bolívar, son las localidades que concentran más del 50% de las viviendas de la Ciudad, y el número de hogares por vivienda también resulta ser el más alto en dichas localidades<sup>3</sup>. En términos porcentuales, se observa que estas tres localidades concentran cerca del 40% del total de viviendas y hogares de la capital.

**Tabla 3-10. Previsión del Número de Viviendas y Hogares por localidad**

Localidad	Viviendas	% Viviendas	Hogares	% Hogares
Suba	276.716	14,18%	299.092	14,27%
Kennedy	257.675	13,21%	277.346	13,23%
Engativá	226.325	11,60%	241.222	11,51%
Usaquén	152.045	7,79%	150.222	7,17%
Ciudad Bolívar	131.402	6,74%	158.654	7,57%
Bosa	121.134	6,21%	146.024	6,97%
San Cristóbal	111.723	5,73%	114.980	5,49%
Rafael Uribe Uribe	103.664	5,31%	107.116	5,11%
Fontibón	99.908	5,12%	99.990	4,77%
Usme	84.155	4,31%	91.057	4,34%
Puente Aranda	70.434	3,61%	75.867	3,62%
Barrios Unidos	56.990	2,92%	64.744	3,09%
Teusaquillo	55.268	2,83%	53.143	2,54%
Chapinero	52.136	2,67%	52.106	2,49%
Tunjuelito	50.645	2,60%	59.266	2,83%
Santa Fé	35.634	1,83%	36.285	1,73%
Antonio Nariño	27.673	1,42%	29.073	1,39%
Los Mártires	27.444	1,41%	29.351	1,40%

<sup>3</sup> El número de hogares corresponde al número de familias que habitan en una vivienda. Según datos de la Encuesta de Calidad de Vida, en los estratos más bajos el número de hogares en una vivienda superan la relación 1:1, es decir que habita en una vivienda más de una familia.

Localidad	Viviendas	% Viviendas	Hogares	% Hogares
La Candelaria	8.308	0,43%	8.585	0,41%
Sumapaz	1.672	0,09%	1.551	0,07%
<b>TOTAL</b>	<b>1.950.951</b>	<b>100%</b>	<b>2.095.674,00</b>	<b>100,00%</b>

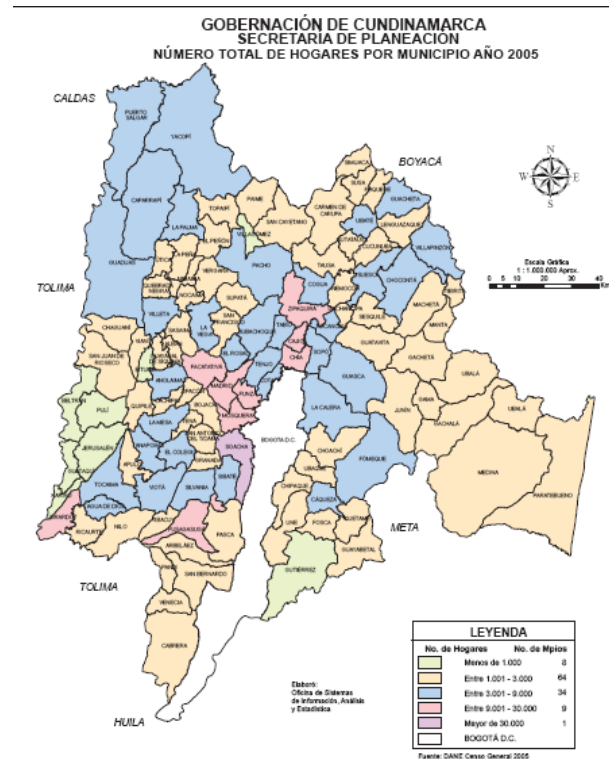
Fuente: Elaboración propia a partir de las proyecciones de la SDP-DANE 2008

En el caso de los municipios, las cifras proyectadas por la SDP- DANE muestran que Soacha con gran diferencia, es el municipio más poblado después de Bogotá D.C., ya que concentra aproximadamente el 12% de las viviendas localizadas en los municipios incluidos en el ámbito del estudio. Le siguen Fusagasugá, Facatativá y Zipaquirá y Chía, todo ellos con valores cercanos al 8% del total de viviendas.

**Tabla 3-11. Número de Viviendas y hogares en los 17 municipios metropolitanos del ámbito de Estudio**

MUNICIPIO	Nº Viviendas	% Viviendas
SOACHA	107.732	35,1%
ZIQUAIRA	28.077	9,2%
CHIA	25.941	8,5%
FACATATIVA	23.199	7,6%
MOSQUERA	21.806	7,1%
LA MESA	14.895	4,9%
LA CALERA	13.482	4,4%
FUNZA	11.462	3,7%
MADRID	11.085	3,6%
CAJICA	10.009	3,3%
SIBATE	7.064	2,3%
TOCANCIPA	6.343	2,1%
SOPO	5.880	1,9%
TENJO	5.584	1,8%
COTA	5.563	1,8%
TABIO	5.525	1,8%
GACHANCIPA	3.019	1,0%
<b>TOTAL</b>	<b>306.666</b>	<b>100%</b>

**Figura 3-18 Distribución de Hogares por Municipios en el ámbito Bogotá**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Planeación de Cundinamarca

### 3.5.1.2 Nivel Educativo

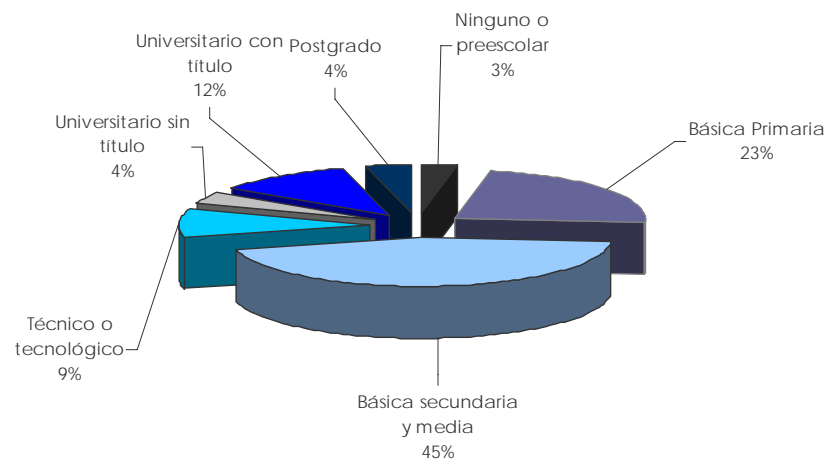
Los datos disponibles para el ámbito de estudio se refieren a 2005, fecha que ya ha sido analizada en el Diagnóstico del presente estudio. De estos datos se desprende que el 55% de la población del ámbito de estudio había superado estudios primarios, y el 26% había superado el Bachillerato.

El DANE realizó en 2007 la "Encuesta de Calidad de Vida en Bogotá D.C." De este estudio se desprende que entre la población mayor de 15 años, la mayoría tiene una educación básica, ya que tan sólo el 3%

de la población reconoce no saber leer ni escribir. Las localidades con mayores índices de población letrada son Kennedy, Suba y Engativá. En gran parte de las localidades el número de mujeres que saben leer y escribir es superior al de hombres a excepción de Sumapaz.

En el conjunto de zonas externas la tasa de analfabetismo es de 8,6%, superior a la tasa de Bogotá D.C., se trata de una zona periférica, con una fuerte implantación de tradición rural, hecho que puede explicar esta tasa de analfabetismo.

**Figura 3-19 Nivel educativo máximo alcanzado por personas mayores de 5 años en Bogotá D.C.**



*Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Calidad de Vida en Bogotá D.C. 2007*

Según este mismo estudio, la mayoría de población de Bogotá D.C. alcanza un nivel formativo Secundario (44,8%). Tan sólo el 3% de la población no alcanza ningún nivel educativo; esta situación se da principalmente en Sumapaz donde el 9,9% de este distrito no posee ningún nivel educativo. En el lado opuesto, el 4% de la población bogotana realiza estudios de postgrado, concentrándose sobre todo en Chapinero donde el 24% de la población posee algún título de estas características.

Cabe destacar que en Bogotá D.C. es menor la proporción de habitantes que no superó ningún nivel educativo (3%) que en el conjunto del ámbito de estudio (11%), así mismo es mayor la proporción de ciudadanos que han obtenido el bachillerato (45%) que en el conjunto del ámbito de estudio (26%).

En términos generales, la población de Bogotá D.C. tiene un nivel educativo superior al del conjunto del ámbito de estudio.

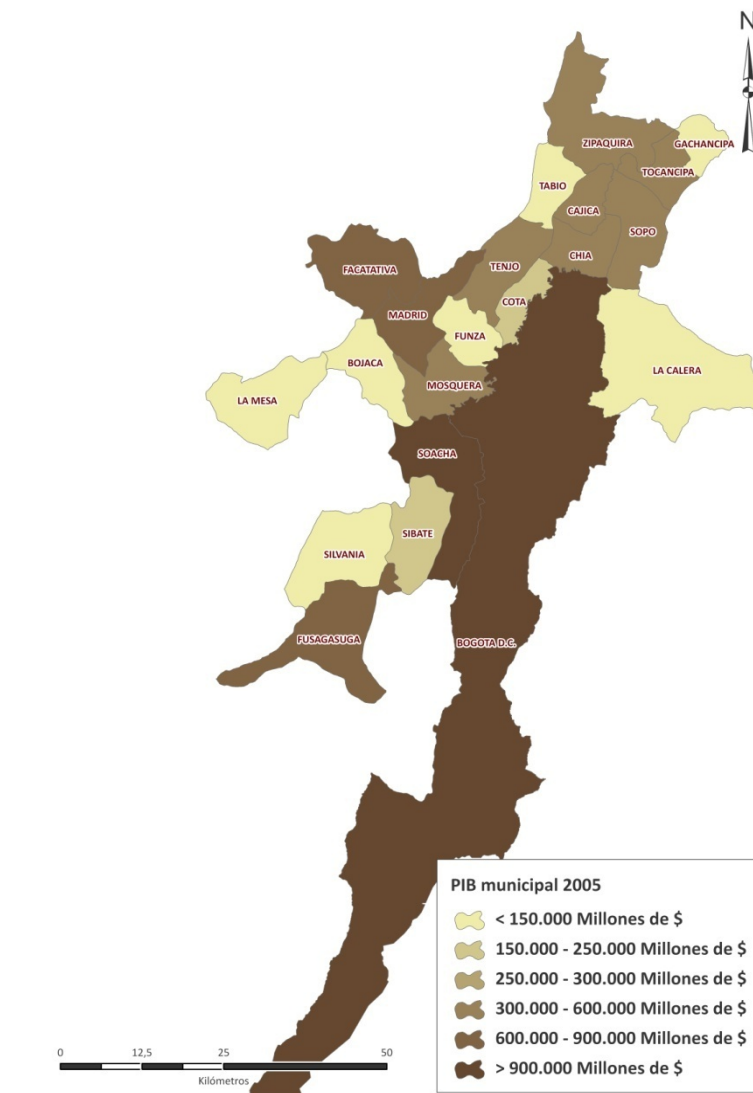
En términos generales la población del área de estudio tiene niveles medios de educación quedando como hecho anecdótico la población que alcanza niveles de postgrado. La tasa de analfabetismo es superior en la zona externa que en Bogotá D.C., mientras que los motivos para dejar los estudios son similares en sendos ámbitos.

### 3.5.1.3 Indicadores económicos

#### 3.5.1.3.1 Producto Interno Bruto

Los datos referentes al PIB tienen como base el año 2005, año del Censo de población, que ya ha sido tratado en el Producto 01. Sin embargo el GC ha realizado las proyecciones correspondientes para el ámbito del estudio. De acuerdo con los datos obtenidos, se observa que debido a su rol de capital, Bogotá es la que más aporta al PIB nacional y que genera atracción de gran capital productivo. Hay que destacar que Soacha es el municipio de las zonas externas que más aporta al PIB.

**Figura 3-20 Valor del PIB en 2008 (Millones de Pesos)**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Planeación de Cundinamarca



Los datos disponibles muestran que los municipios que conforman el ámbito de estudio representan un 27,62% del PIB Nacional. En el ámbito de estudio, destacan Bogotá D.C. con un 88,14% como motor económico y capital del país, seguido de los municipios de Soacha con un 3,29% y Madrid con un 1,22% del conjunto de municipios considerados.

**Tabla 3-12. Proyección del PIB por municipios en el ámbito de estudio. 2008**

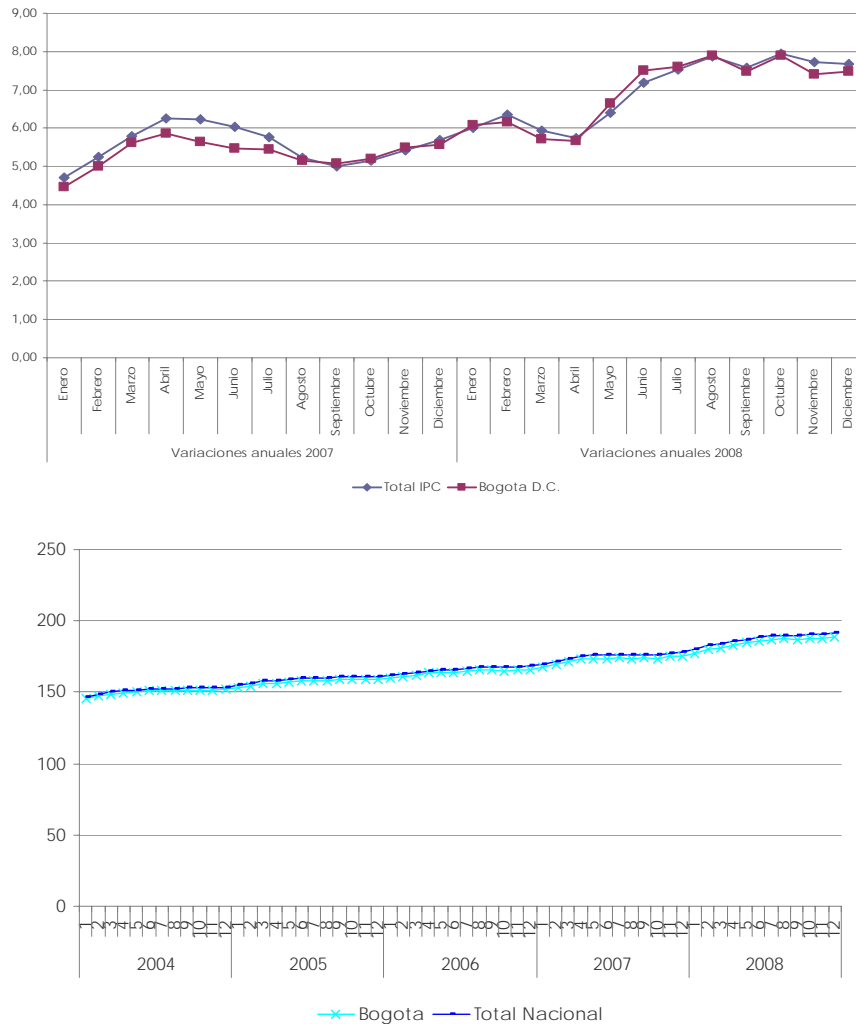
NOMBRE	PIB 2008* millones de \$	%
BOGOTA D.C.	61.959.344,00	88,14%
SOACHA	2.315.536,30	3,29%
MADRID	859.598,90	1,22%
FACATATIVA	657.027,40	0,93%
FUSAGASUGA	604.741,60	0,86%
ZIPAQUIRA	509.044,30	0,72%
CHIA	482.862,10	0,69%
MOSQUERA	476.701,20	0,68%
TENJO	376.060,20	0,53%
SOPO	328.256,10	0,47%
TOCANCIPA	316.178,60	0,45%
CAJICA	311.316,90	0,44%
SIBATE	247.193,40	0,35%
COTA	202.330,20	0,29%
LA MESA	145.505,80	0,21%
LA CALERA	132.392,70	0,19%
SILVANIA	88.638,70	0,13%
TABIO	90.563,00	0,13%
GACHANCIPA	77.118,70	0,11%
BOJACA	63.540,60	0,09%
FUNZA	51.908,10	0,07%
<b>TOTAL</b>	<b>70.295.858,80</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Planeación de Cundinamarca

### 3.5.1.3.2 Índice de Precios al Consumidor

La variación en el costo de la vida puede medirse gracias al Índice de Precios al Consumidor. Tal y como se ha expuesto en el Producto 01, en los últimos años este índice ha tenido una tendencia al alza, mostrando para el periodo 2008 un incremento del 7,69% respecto al año anterior.

**Figura 3-21 Evolución de la variación del I.P.C. en Bogotá D.C. 2004-2008**



Fuente: Elaboración propia a partir de DANE. 2009.

La variación del IPC en Bogotá D.C. ha seguido la misma línea que la evolución del IPC a nivel nacional, aumentando entre los años 2007 y 2008, continuando esta tendencia desde 2004.

### 3.5.1.3.3 Salario mínimo

De acuerdo con las fuentes consultadas, el salario mínimo colombiano aprobado mediante el Decreto 4965/07 fue de 461.500 pesos en 2008, mientras que en 2009 asciende a la suma de 496.900 pesos, lo cual se traduce en un incremento del 7,67%, equivalente al incremento anual del I.P.C en 2008.

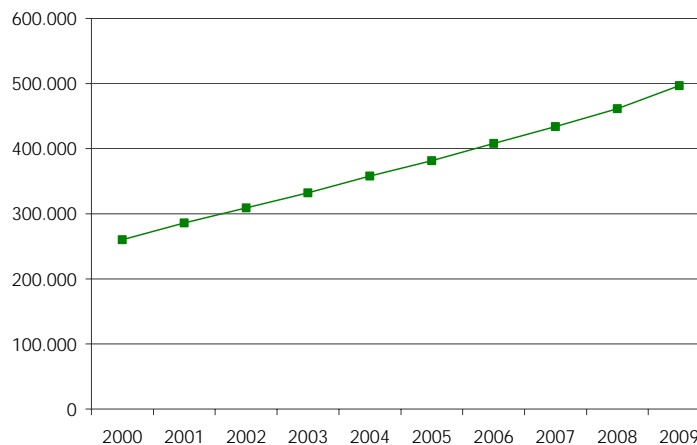
**Tabla 3-13. Evolución del Salario mínimo en Colombia. 2000-2009**

Año	Salario en Pesos
2000	260.100
2001	286.000
2002	309.000
2003	332.000
2004	358.000
2005	381.500
2006	408.000
2007	433.700
2008	461.500
2009	496.900

Fuente: Documento elaborado por César Augusto Duque Mosquera a partir de datos del Ministerio del Trabajo

En el periodo 2000- 2009 el salario mínimo ha tenido un incremento medio anual del 6,69%, con un aumento sostenido en el tiempo.

**Figura 3-22 Evolución del Salario Mínimo en Colombia**



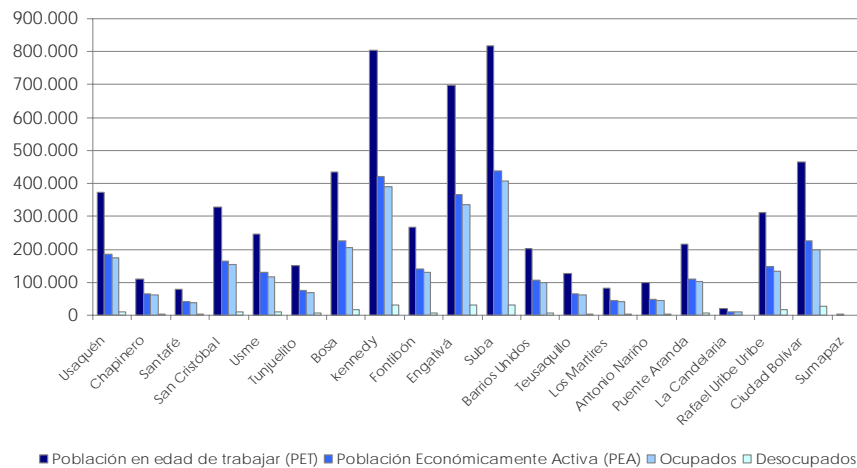
Fuente: Elaboración propia

#### 3.5.1.3.4 Fuerza Laboral y empleo

Para el estudio de la fuerza laboral y el empleo de la zona de estudio se ha analizado la información recogida en el Plan Maestro de Movilidad y la Encuesta de Calidad de Vida 2007.

Según la información disponible en la ECV 2007 para Bogotá, se observa que las localidades donde se encuentra mayor población en edad de trabajar, son Suba, Kennedy y Engativá, que se corresponden con aquellas de mayor población, según lo analizado previamente. También son aquellas poblaciones en las que hay mayor número de desocupados.

**Figura 3-23 Fuerza laboral por localidad en Bogotá D.C. 2007**



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de calidad de vida en Bogotá D. C. 2007

El PMM por su parte presenta datos de empleo desagregados por Sectores y municipios. Este plan proyecta los datos al año 2006 y de ahí en adelante realiza cálculos de proyección del empleo hasta el año 2025.

Sin embargo, la metodología de proyección del empleo utilizada en el PMM se basa en crecimiento económico del PIB partiendo de una tasa del 4% - contrario al 1, 6% de crecimiento de la economía que se da actualmente- y la población, proyectando una distribución hasta el año 2025.

Por esta razón el Grupo Consultor ha corregido dichas proyecciones utilizando los siguientes métodos:

1. **Análisis de la población empleada:** A partir de los cálculos demográficos se determinó la población en edad de trabajar (PET). Luego con la información de la Encuesta de Calidad de vida del 2007 se calculó la población económicamente activa (PEA) para luego con la tasa de ocupación calcular la población ocupada (PO). Sin embargo estos totales correspondían a la localización de la vivienda de los empleados en lugar de determinar los destinos o puntos de trabajo, razón que llevó al G.C. a continuar con la información de empleos localizados del PMM, ya que no había manera de determinar a través de este método si esos empleos se localizan dentro o fuera de Bogotá.
2. **Análisis de los datos del PMM:** A partir de la información y las proyecciones del PMM sobre empleo y población se realizó una comparación de los totales con las proyecciones de población realizadas por el grupo consultor a partir del censo del 2005 (Dane) y con las proyecciones del estudio de JICA (1996).

Como resultado de las comparaciones se concluyó que para calcular el total del empleo se toma el porcentaje del total de participación del empleo del PMM-06 2020, sobre la proyección de población PMM-06 2020 - tasa del 46,74%.

Para calcular el reparto entre Bogotá, 17 Municipios y el resto de Cundinamarca, se utiliza el mismo porcentaje de participación de estos ámbitos en el PMM (77%, 11% y 11%) respectivamente. La participación del empleo en relación con la población estaba entre el 46 y 48%. Para los cálculos realizados se asume que la población que trabaja equivale al 46,7% de la población total.

**Figura 3-24. Datos de partida para proyección del empleo**

ESTRUCTURA BASE PARA LA LOCALIZACION DE POBLACION Y EMPLEO AÑOS 2008-2038  
PROYECTO METRO - BTA

JICA-1995		2007 (GC)	2008 (GC)	%	JICA-2020	Proy Dane 2015	Pmm 2020
POBLACION BOGOTA	5.995.000	7.050.228	7.155.052	75%		7.550.751	8.347.143
17 MPIOES	816.000	1.178.002	1.205.979	13%		1.406.614	1.552.740
AREA METROP.	6.811.000	8.228.230	8.361.031		11.074.808	8.957.365	9.899.883
RESTO C/MARCA		1.180.113	1.191.532	12%			2.828.400
TOTAL		9.408.343	9.552.563				12.728.283

JICA-1995		Pmm 2001	pmm 2004	Pmm 2007	Pmm 2008	%	JICA-2020	Pmm 2020	pmm 2025	%
BOGOTA	2.365.700	2.697.716		3.303.320	3.430.155	77%	4.138.800	4.593.268	4.868.187	77,3%
17 MPIOES	318.800		475.487	510.731	528.380	12%	1.138.700	686.063	724.359	11,5%
AREA METROP.**	2.684.500			3.814.051	3.958.535		5.277.500	5.279.331	5.592.546	
RESTO C/MARCA			464.267	498.678	515.911	12%		669.874	707.267	11,2%
TOTAL				4.312.729	4.474.446			5.949.205	6.299.813	

INDICES					
Tasa Ocupac BOGOTA		39%		47%	48%
17 MPIOES		39%		43%	44%
AREA METROP.		39%			48%
RESTO C/MARCA			42%	43%	23,68%
TOTAL			46%	47%	46,74%

\*\* Plan Maestro Movilidad 2006: Ajustado al 2008 con una tasa del 4% de crecimiento anual, igual a la tasa de crecimiento de la población ocupada entre el 2004-2006 (CCB): Gustavo Peralta - G.C.

Fuente: Elaboración propia

Es por ello que el GC ha dirigido sus esfuerzos en estimar una distribución adecuada para el año 2008 tomando como base las proyecciones de población y una tasa de ocupación media del 46,74%, obtenida del análisis comparativo de las diversas fuentes de información ya citadas<sup>4</sup>

Con estos datos se obtienen los totales de empleo para el año 2008, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

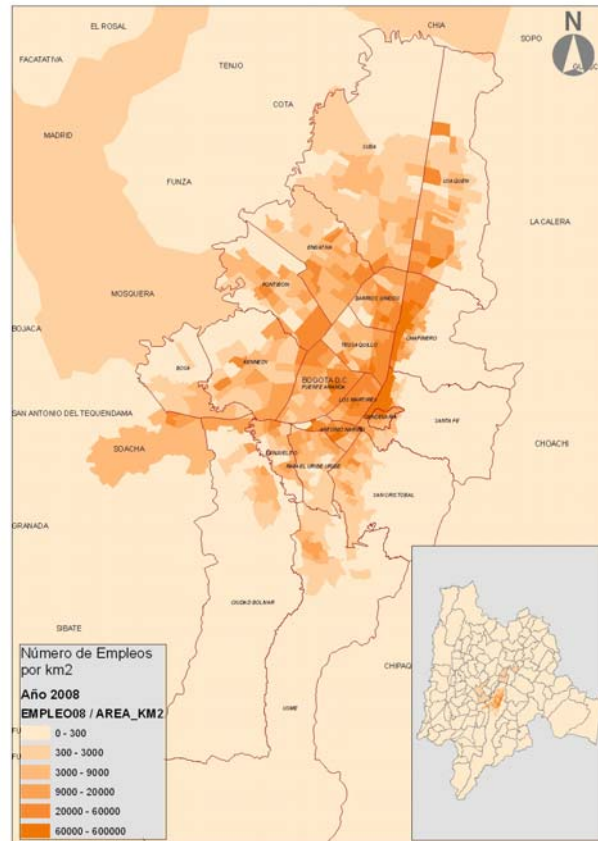
**Tabla 3-14. Proyección de Empleo en el ámbito de Estudio 2008**

TOTALES	2008
Empleo Bogotá	3.430.155
Empleo 17 Municipios	528.380
Empleo Resto Cundinamarca	515.911
<b>Total ámbito</b>	<b>4.474.446</b>

Fuente: Elaboración propia

<sup>4</sup> A partir de la información y las proyecciones del PMM sobre empleo y población se realizó una comparación de los totales con las proyecciones de población realizadas por el grupo consultor a partir del censo del 2005 (Dane) y con las proyecciones del estudio de JICA (1996). Como resultado de las comparaciones se concluyó que para calcular el total del empleo se toma el porcentaje del total de participación del empleo del PMM-06 2020, sobre la proyección de población PMM-06 2020 - tasa del 46,74%.

**Figura 3-25. Empleos 2008 en el ámbito de Estudio**



Fuente: Elaboración propia

La distribución zonal del empleo para el año 2008 se encuentra desagregada en el anexo C del presente documento.

Para describir la situación del empleo en 2008 se partió de información de la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB), disponible en los perfiles económicos y empresariales de las localidades bogotanas (2004 y 2006)<sup>5</sup>. La citada información aporta datos sobre el número de empresas existente en cada localidad, según tamaño de empresa (microempresas<sup>6</sup>, pequeñas<sup>7</sup>, medianas<sup>8</sup> y grandes empresas<sup>9</sup>) y según sector económico (industriales, comerciales y servicios y resto)

<sup>5</sup> Esta información podría obtenerse más detalladamente, por ejemplo, zonas de transporte dentro de cada localidad, mediante solicitud directa a la CCB; sin embargo, éste proceso tomaría un plazo que rebaza el plazo restante disponible para las realizar las proyecciones de empleo.

<sup>6</sup> Menos de 10 empleados.

<sup>7</sup> Entre 10 y menos de 50 empleados.

<sup>8</sup> Entre 50 y menos de 200 empleados.

<sup>9</sup> 200 o más empleados.

Advertir que se hace referencia a empresas inscritas en el registro mercantil de la CCB y en consecuencia, excluye empresas informales. La información de empresas sirve como base para estimar el número de empleos ofrecido por cada localidad, por sector económico y por tamaño de empresa, según supuestos del número promedio de empleos ofrecido por empresa en función de su tamaño<sup>10</sup>

Respecto a la información correspondiente a 17 municipios metropolitanos, se partió de información proveniente del censo económico de 1999 de la Gobernación de Cundinamarca y el DANE, incluyendo el ajuste realizado en 2002 por aquella entidad. Particularmente se tomó la información de número de empleos por municipio, según sector económico (industria y comercio y servicios).

Advertir que se trata de un censo económico, que no discrimina entre formalidad e informalidad. También se utilizó una información agregada de 26 municipios metropolitanos para estimar el empleo según tamaño del establecimiento en los 17 municipios metropolitanos del ámbito de estudio.

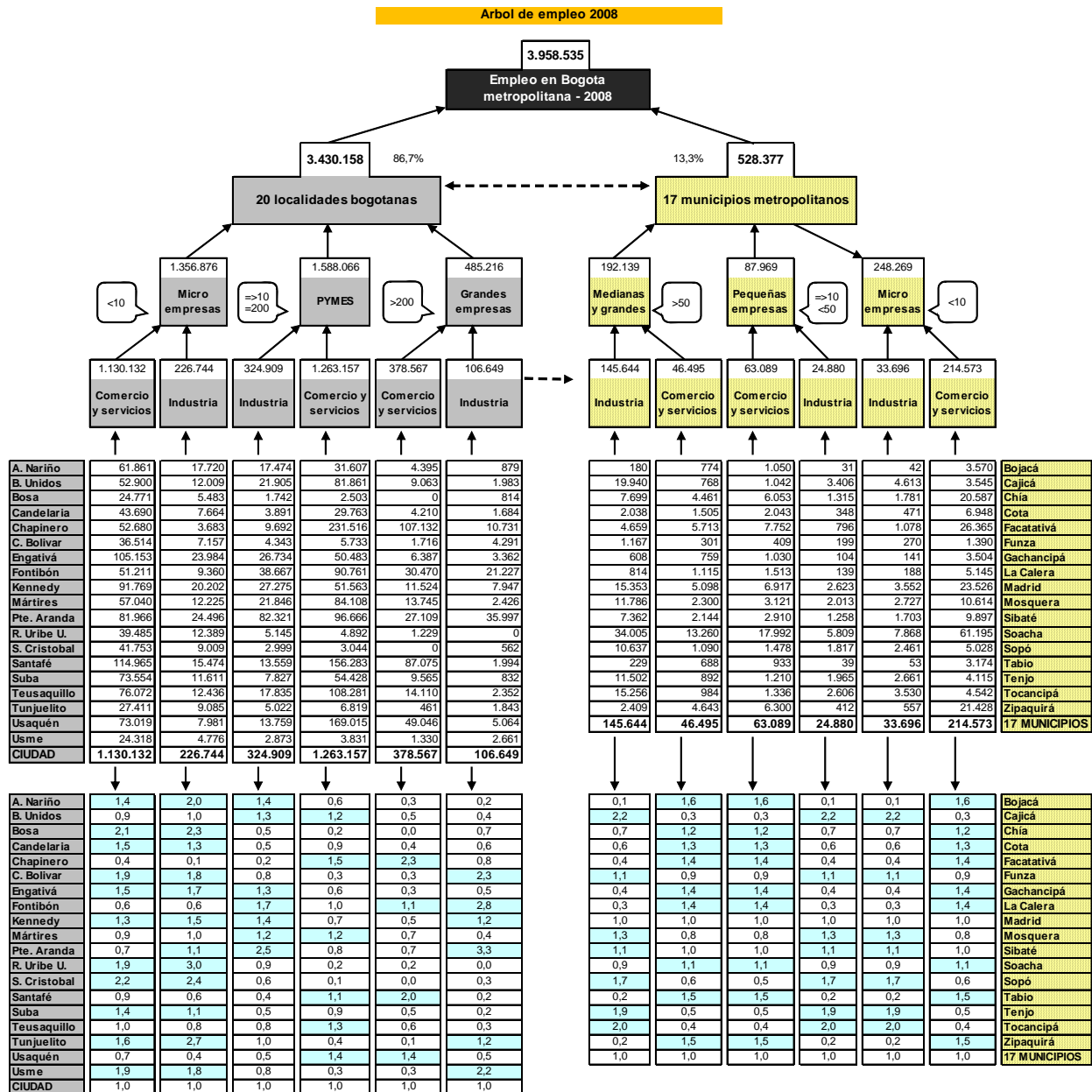
La información empresarial recogida permite la generación de un *Árbol* de empleo cuya cúspide muestra el empleo total en Bogotá metropolitana. El nivel siguiente corresponde al empleo en Bogotá (20 localidades) y en los 17 municipios metropolitanos. El tercer nivel recoge las cifras de empleo según tamaño de la empresa o del establecimiento (microempresas, pequeñas, medianas y grandes empresas) y después las ramas de empleo según sector económico (industria y comercio y servicios). En la base del árbol esta la información de entrada, por localidad y por municipio metropolitano. El árbol se construye de abajo hacia arriba, desde las celdas de empleo de localidades bogotanas y municipios metropolitanos, cuyos datos de entrada corresponden a proyecciones al año 2008 derivadas del Plan Maestro de Movilidad

Para 2008, se partió de 3,430,000 empleos en las 20 localidades bogotanas y de 528,000 empleos en los 17 municipios metropolitanos,. La distribución del empleo por sector económico y para un total de alrededor de 3,958,000 empleos en Bogotá metropolitano tamaño de la empresa o del establecimiento se puede apreciar en el árbol correspondiente a 2008

---

<sup>10</sup> Los supuestos fueron de 5, 30, 125 y 250 empleados/empresa, para microempresas, pequeñas, medianas y grandes empresas, respectivamente.

Figura 3-26. Total de empleos por sector económico en Bogotá-2008



Fuente: Elaboración propia

Los índices en la parte inferior del árbol muestran la especialización de las localidades de Chapinero, Usaquén y Santafé en PYMES y grandes empresas de comercio y servicios. Barrios Unidos y Mártires se especializan en PYMES industriales, comerciales y de servicios. Antonio Nariño y Engativá se especializan en micro-empresas de todo tipo y pequeñas empresas industriales. Las localidades de Puente Aranda, Fontibón, Ciudad Bolívar, Usme, Kennedy y Tunjuelito se especializan en grandes empresas industriales y simultáneamente en microempresas y/o pequeñas empresas industriales. Bosa, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Suba y la Candelaria se especializan en micro-empresas comerciales y de servicios. La localidad de Teusaquillo se especializa en PYMES comerciales y de servicios.

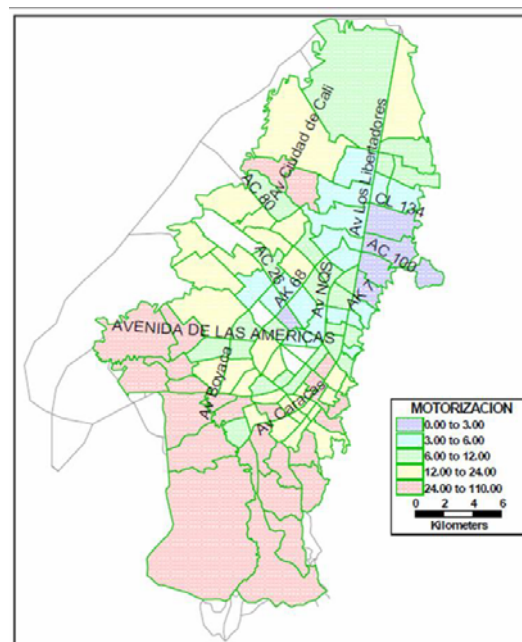


Un conjunto de municipios metropolitanos se especializa en empleo industrial en empresas grandes y medianas, en paralelo con la especialización industrial en pequeñas empresas y micro-empresas. Tales municipios son Cajicá, Tocancipá, Tenjo, Sopó, Mosquera, Funza y Sibaté. El resto de municipios metropolitanos muestra un patrón uniforme de especialización en empresas o establecimientos comerciales y/o de servicios, de todo tamaño.

### 3.5.1.4 Tasa de motorización

La Tasa de motorización más reciente, calculada para Bogotá se obtiene a partir de la Encuesta de Movilidad del DANE del año 2005, con la cual se estimó el número de habitantes por vehículo, teniendo en cuenta exclusivamente los vehículos particulares. Con ella en el Plan Maestro de Movilidad se han determinado las diferentes Tasas de Motorización de cada estrato socioeconómico.

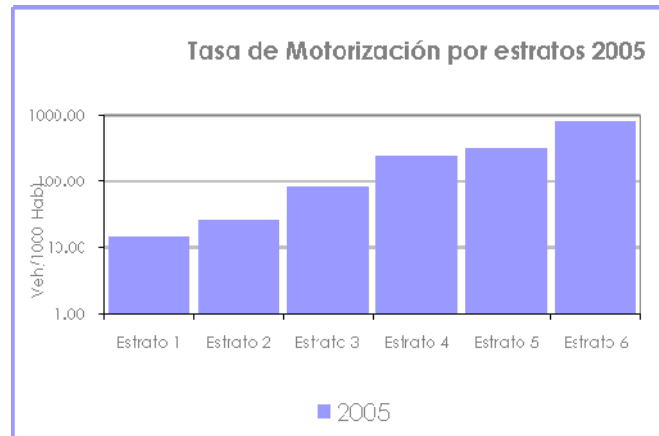
**Figura 3-27. Tasa de Motorización en Bogotá D.C.**



*Fuente: Plan Maestro de Movilidad- Elaborado con datos de la STT- año 2005*

De acuerdo con la Encuesta de Movilidad, los estratos socioeconómicos tienen un comportamiento diferencial en cuanto a la posesión y uso de los diversos sistemas de transporte. En 2005, los estratos 1 y 2 en Bogotá contaban con 15 y 26 automóviles por cada 1.000 personas respectivamente, cifra cercana a la indicada por Hook (2006:2) para África y algunas partes de Asia.

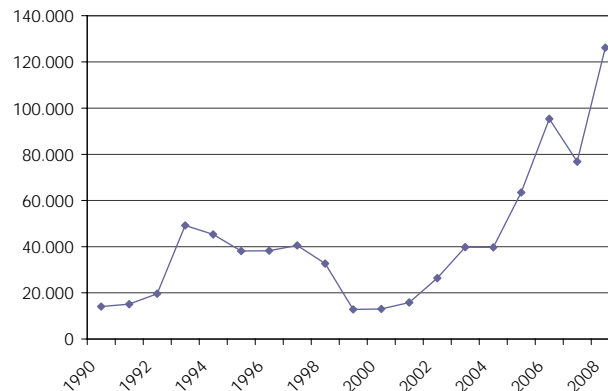
**Figura 3-28. Tasa de motorización para el 2005 por estratos**



Fuente: Elaborado a partir de PMM.

Analizando la evolución del parque automotor en Bogotá D.C. en el periodo 1990 – 2008, se observa una importante fluctuación en el comportamiento de las cifras registradas. Los datos del Ministerio de Transporte para dicho periodo indican que en el año 2008 se registraron en Bogotá D.C. 126.147 nuevos vehículos (todo tipo de vehículos), para llegar a un total 802.372 vehículos en el Distrito Capital.

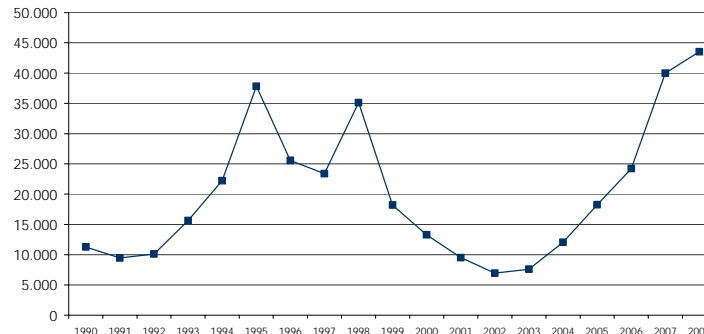
**Figura 3-29. Evolución del registro anual de vehículos en Bogotá D. C. 1990 - 2008**



Fuente: elaboración propia a partir de Ministerio de Transportes

En el caso de Cundinamarca, las cifras del Ministerio reflejan un total de 384.266 vehículos para todo el Departamento en el año 2008.

**Figura 3-30. Evolución del parque automotor en Cundinamarca 1990 - 2008**



*Fuente: elaboración propia a partir de Ministerio de Transportes*

De acuerdo con los datos anteriores, el crecimiento medio anual del parque automotor en Bogotá D.C. ha sido del 12,14% mientras que en el conjunto de Cundinamarca ha sido de 7,37%, aunque como ya se ha comentado, el crecimiento no ha sido sostenido, siguiendo en ambos casos una tendencia similar.

Con el fin de actualizar la tasa de motorización por estrato para el 2008 se han realizado las siguientes hipótesis:

- El total de vehículos para el 2005 es el resultado de multiplicar la Tasa de motorización por estratos, a la población por estratos del mismo año.
- La distribución de vehículos por estratos resultante del 2005 se considera invariable entre el periodo 2005 y 2008.
- Se calcula el total de vehículos para el 2008 como la suma de los vehículos del 2005 más las variaciones en el parque automotor registradas por el Ministerio de transporte.
- Los vehículos por estratos para el 2008 se calculan manteniendo la distribución del 2005.
- La tasa de motorización de 2008 debe ser similar al resultado de dividir el total de vehículos por estrato entre la población de cada estrato del año 2008.

Se han realizado los análisis separando el ámbito de estudio en dos grupos de zonas:

- Bogotá D.C.
- Municipios.

La siguiente tabla recoge las cifras para cada ámbito de los totales de automóviles como la suma de vehículos livianos y camperos para el año 2005.

Tabla 3-15. Resumen N° de Vehículos en el ámbito de estudio

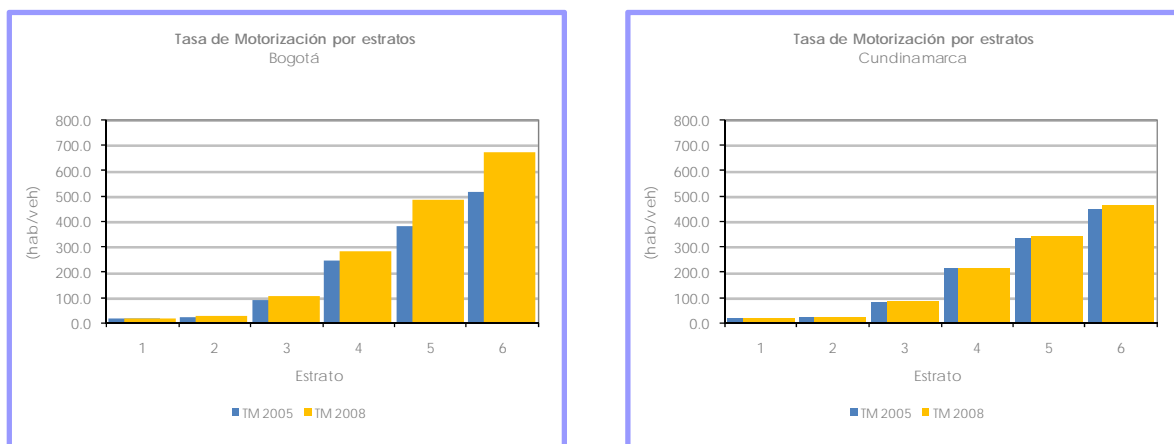
Año	BOGOTÁ			CUNDINAMARCA		
	Acumulado de matriculados desde el 1990*	Matriculados	Variación veh.	Acumulado de matriculados desde el 1990*	Matriculados	Variación veh.
2002	-	23 024	-	-	2 798	-
2003	-	34 910	-	-	1 703	-
2004	-	33 875	-	-	1 750	-
2005	605 051	51 156	-	133 000	1 262	-
2006	656 207	58 765	8.45%	134 262	1 289	0.95%
2007	714 972	48 911	8.96%	135 551	1 688	0.96%
2 008	763 883	82 620	6.84%	137 239	2 520	1.25%
2 009	846 503	33 449	10.82%	139 759	1 980	1.84%

\*Totales de automóviles y camperos.

Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Transporte.

Con estos totales se ha calculado la variación entre los años 2005 y 2008 como 1,26 para Bogotá y 1,05 para Cundinamarca.

Figura 3-31. Tasa de motorización por zona



Fuente: Elaboración propia

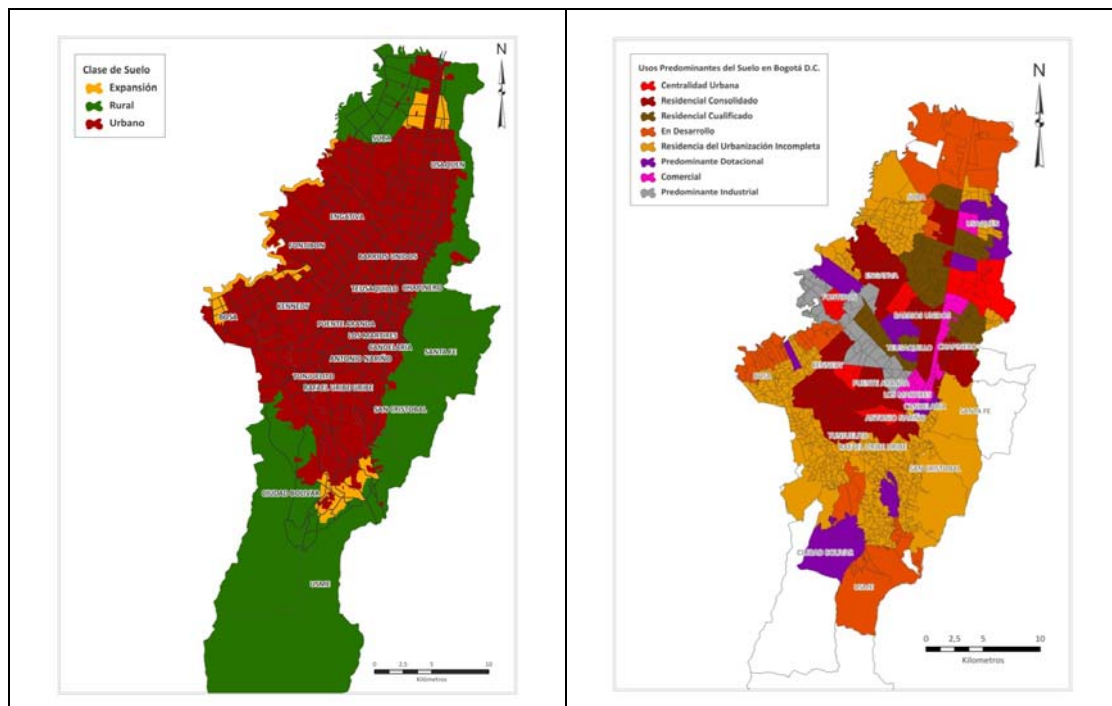
### 3.5.1.5 Usos del Suelo

Como ya se ha indicado previamente en el apartado 2.4.1 del Producto 01., la Ciudad de Bogotá presenta cuatro zonas con características propias que las diferencian entre ellas:

- La Zona Central donde se ubican el barrio La Candelaria y el Centro Internacional acogen las dependencias político-administrativas del país

- La Zona Norte incluye las actividades financieras y algunos museos, iglesias y edificaciones de interés cultural.
- La Zona Sur emplaza la actividad industrial y el sector obrero de la ciudad y,
- La Zona Occidental localiza las grandes industrias, parques e instalaciones deportivas y el aeropuerto internacional El Dorado.

**Figura 3-32 Usos del Suelo en el ámbito de Estudio**



Fuente: Elaboración propia a partir del POT.

Tomando como base el POT, se puede realizar un análisis de la clasificación de los usos del suelo en el ámbito urbano de Bogotá D.C. Como se aprecia en la figura anterior, las localidades de Engativá, Fontibón, Barrios Unidos, Teusaquillo, Kennedy, Bosa, Puente Aranda, Los Mártires, Candelaria, Antonio Nariño, Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe, corresponden a las zonas de ámbito urbano. Localidades como Usaquén, Suba, Santa Fe, San Cristobal, Usme y Ciudad Bolívar cuentan con usos mixtos de suelo, en su mayoría de ámbito rural, a excepción de Usaquén y Suba.

Las zonas de expansión están localizadas en la periferia de los límites del Distrito Capital, y se ven restringidas por los Cerros Orientales.

En cuanto al uso específico del suelo, se observa lo siguiente:

- **Uso comercial:** Chapinero - 37%, Los Mártires - 28%, Santa Fe - 18% y Usaquén - 17%, son las localidades con mayoría de suelo destinado a esta actividad.
- **Centralidad Urbana:** Se destacan Usaquén - 54%, Engativá- 12%, Fontibón -12%, Kennedy-11% y Antonio Nariño- 11%.

- **Residencial:** Comprende suelo en desarrollo, completamente consolidado, cualificado y de urbanización incompleta. Se destacan las localidades de Suba, Usme, Usaquén, Chapinero, San Cristobal, Ciudad Bolívar, Kennedy, Engativá, todas con un porcentaje superior al 25% de su superficie.
- **Dotacional:** Ciudad Bolívar, Usaquén, Fontibón y Usme se configuran como las áreas del Distrito con mayor superficie dedicada a los servicios.
- **Industrial:** La actividad industrial se concentra fundamentalmente en las localidades de Fontibón, Puente Aranda, Kennedy y Engativá.

Mayor detalle se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 3-16. Usos del Suelo por Localidad. 2005**

LOCALIDAD	Comercial	Con Centralidad urbana	Desarrollo	Pred. dotacional	Pred. industrial	Residencial consolidado	Residencial cualificado	Residencial de urbanización incompleta	Sin Especificar
Antonio Nariño	0%	11%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%
Barríos Unidos	0%	0%	0%	3%	0%	7%	6%	0%	0%
Bosa	0%	0%	9%	0%	0%	2%	0%	6%	0%
Candelaria	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%
Chapinero	37%	0%	0%	0%	0%	10%	18%	1%	0%
Ciudad Bolívar	0%	0%	8%	37%	0%	3%	0%	18%	6%
Engativá	0%	12%	0%	3%	9%	21%	0%	3%	0%
Fontibón	0%	12%	0%	13%	54%	0%	10%	0%	0%
Kennedy	0%	11%	6%	3%	11%	17%	0%	3%	0%
Los Mártires	28%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%
Puente Aranda	0%	0%	0%	0%	26%	10%	0%	0%	0%
Rafael Uribe Uribe	0%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	4%	0%
San Cristobal	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	26%	0%
Santa Fé	18%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	10%	3%
Suba	0%	0%	30%	0%	0%	7%	42%	16%	0%
Sumapaz	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	75%
Teusaquillo	0%	0%	0%	7%	0%	5%	10%	0%	0%
Tunjuelito	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	2%	0%
Usaquén	17%	54%	16%	24%	0%	0%	14%	3%	0%
Usme	0%	0%	32%	8%	0%	0%	0%	9%	15%
<b>Total general</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia a partir del POT.

### 3.5.2 VARIABLES DEPENDIENTES: DATOS DE MOVILIDAD

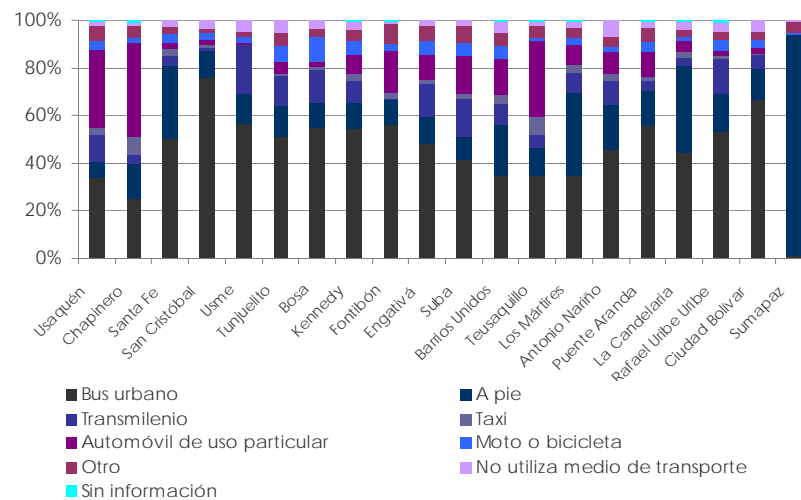
La información más actualizada sobre la movilidad en el ámbito de estudio, proviene de fuentes como la *Encuesta de Calidad de Vida 2007*, realizada para Bogotá D.C., la *Encuesta de Movilidad del año 2005* y la información municipal disponible.

#### 3.5.2.1 Modo de transporte

Del análisis de la Encuesta de Calidad de Vida para el año 2007 realizada en Bogotá, se puede extraer que el modo de transporte preferido en los desplazamientos a los centros de trabajo es el Autobús urbano.

Esta tendencia se rompe en las localidades de Sumapaz en el sur de la ciudad, donde los desplazamientos a pie son mayoritarios, y en Chapinero, Usaquén, Teusaquillo donde los desplazamientos en automóvil particular son los más abundantes.

**Figura 3-33 Medio de transporte utilizado en los desplazamientos al lugar de trabajo**

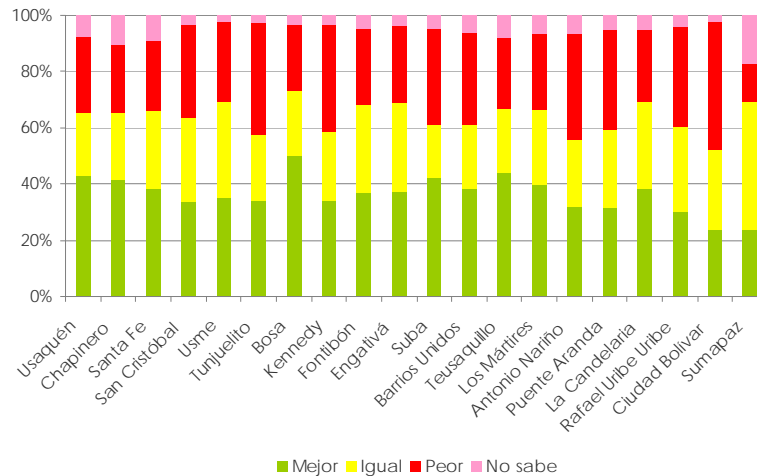


Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Calidad de Vida de Bogotá D. C. 2007

Respecto a la percepción del transporte público por parte de los hogares, el 37,1% de los jefes de hogar de Bogotá piensan que el estado actual es mejor de lo que era en 2003.

Este panorama es el mismo para todas las localidades, con excepción de Tunjuelito, Kennedy, Antonio Nariño, Puente Aranda, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar, mientras en Sumapaz la percepción es que el sistema de Transporte público es similar que en 2003.

**Figura 3-34 Percepción en los Hogares del estado en 2007 del Transporte público respecto a 2003 en Bogotá D.C.**



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Calidad de Vida de Bogotá D. C. 2007

### 3.6 MATRIZ DE TRANSPORTE PRIVADO AL 2008

De acuerdo con lo indicado en el apartado de validación de la información contenido en el presente informe y con el esquema metodológico general propuesto en el apartado 3.4, la matriz de vehículo particular es el resultado de la matriz obtenida a partir de la EDM05, con información actualizada mediante las fuentes citadas anteriormente, la cual se ajusta al año base mediante los aforos<sup>11</sup> proporcionados por la SDM para el año 2008 proceso que se describe más adelante. A modo de referencia, cabe resaltar que la matriz de vehículo privado que actualmente está incluida en el modelo del SITP de 2007 recoge un total de 216.449 desplazamientos de vehículos livianos en hora punta para las 824 de transporte consideradas en dicho estudio.

Esta matriz constituye el insumo básico para este estudio desde el lado de la demanda para la construcción del modelo de transporte. Sin embargo, ha sido necesario modificarla durante el proceso de calibración del modelo de tal forma que siendo una entrada inicial al proceso de modelación, se va modificando en la medida en que en un proceso de asignación por equilibrio del usuario no resulta en volúmenes y tiempos ajustados a lo observado.

En el anexo D se describe el tratamiento de las fuentes de información utilizadas como punto de partida. En el Anexo E se presenta un análisis de la movilidad a partir de la Encuesta de Movilidad realizada por el DANE en el año 2005.

#### 3.6.1 PLANTEAMIENTO GENERAL PARA EL CÁLCULO DE UNA MATRIZ DE VEHÍCULO PRIVADO PARA EL AÑO BASE DE 2008

Con todo ello, y visto los antecedentes (Anexo D), la mejor aproximación para obtener la matriz de viajes de 2008 se basa en una combinación de métodos sintéticos de generación y distribución de los cuales

<sup>11</sup> El trabajo de campo para el aforo de vehículos particulares para el año 2008 fue realizado por Consorcio Monitoreo de Tránsito y Transporte Urbano Bogotá, encargado por la SDM. Dichos aforos contienen información diaria del tráfico vehicular en la ciudad de Bogotá, y recogen la información en periodos de tiempo de 15 min.



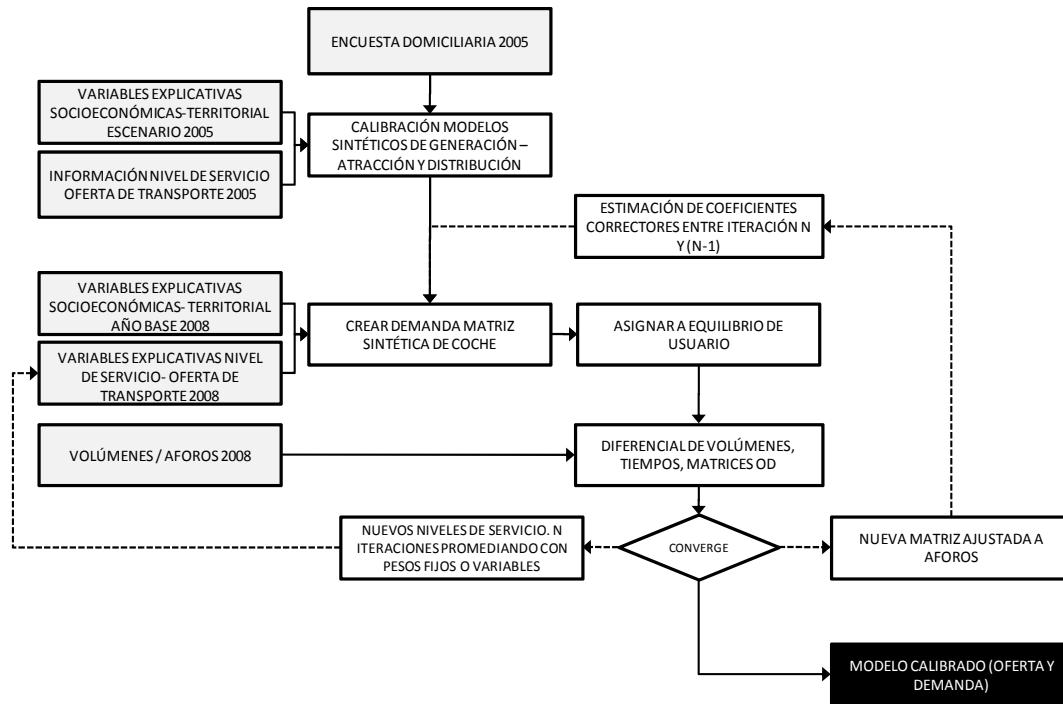
puedan resultar matrices de transporte privado consistentes con las pautas de movilidad obtenidas en la encuesta domiciliaria de 2005 para el escenario base 2008 para posteriormente ajustar dichas matrices a la información existente de aforos minimizando los cambios de estructura en la matriz semilla. Se ha realizado una metodología específica para actualizar a 2008 la demanda de movilidad en vehículo privado tomando como principales fuentes de información las referentes a:

- Variables socioeconómicas para los años 2005 y 2008.
- Encuesta de Movilidad de 2005.
- Aforos en hora pico para el año 2008.
- Modelo de red vial.

La metodología seguida, tal y como se refleja en la siguiente figura, es:

1. Calibrar un modelo de generación, atracción y distribución únicamente modal de viajes en auto. Dado que la proyección es muy a corto plazo (calibración al año base 2005 para estimar la movilidad en 2008) se estima conveniente usar un modelo modal. Para calibrar este modelo se utiliza como realidad observada la movilidad recogida en el Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2005 correspondiéndola con variables socioeconómicas y condiciones de oferta (RED) de 2005. La validación de este modelo no será la capacidad de reflejar las pautas de movilidad en coche identificadas en la Encuesta Domiciliaria 2005. En cuanto a las condiciones de red para vehículo privado (tiempos de desplazamiento básicamente) se asume que no varían en demasía entre los años 2005-2008 por lo que se utilizan como referencia para la calibración del modelo.
2. Con este modelo y con la situación de las variables socioeconómicas de 2008 se estima una nueva matriz de coche para el año 2008. El procedimiento se estructura bajo un esquema iterativo para obtener una coherencia entre los diferentes submodelos que lo componen. Esta matriz obtenida para el nuevo año base 2008, tiene que adaptarse a los aforos registrados en la red vial del mismo año, para que por un lado, represente las estructuras y pautas de movilidad territoriales reflejados en la encuesta domiciliaria de movilidad y establezca una carga de red coherente que sirva de insumo para el modelo de transporte público.

**Figura 3-35 Planteamiento del esquema general del procedimiento de calibración del modelo para el año base 2008.**



Fuente: Elaboración Propia

Resumiendo el proceso metodológico que se va a seguir en la obtención de la matriz de demanda de autos:

- Obtención de la matriz de referencia de autos 2005 de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad 2005. Hay que tener en cuenta que esta encuesta tiene como zonificación una estructura de 635 zonas. La mayoría de las zonas (95% aproximadamente) se corresponden con Sectores DANE, unidad administrativa a la cual están asociadas mucha de la información socioeconómica utilizada y que además tiene una correspondencia biunívoca con la zonificación de 824.
- Calibración de los modelos de generación-atracción y distribución zonal con base a la información existente en la Encuesta de Movilidad de 2005 y las variables explicativas de dicha movilidad (oferta de transporte- situación socioeconómica)
- Proyección de esta matriz hasta 2008 mediante los métodos sintéticos de generación – distribución de viajes calibrados anteriormente
- Introducción de aforos de autos de 2008, relativos a la hora punta de demanda considerada, 6:30-7:30 en la red vial
- Ajuste de la matriz 2008 obtenida a los aforos registrados en 2008
- Existen dos elementos de retroalimentación en el procedimiento de estimación de la matriz base: El primero tiene que ver con la condición de congestión que existe en la hora punta y que condicionarán los valores de tiempo de recorrido a introducir en el modelo sintético, por lo que existe procedimiento de convergencia iterativo. El segundo tiene que ver con el proceso de ajuste progresivo a los aforos de 2008.

- Finalización del proceso iterativo cuando los parámetros de validación de la matriz (R2, GEH, Análisis estructural sean los correctos)

### 3.6.2 FORMULACIONES DEL MODELO SINTÉTICO

#### 3.6.2.1 Obtención de la Matriz de referencia observada de auto a partir de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2005

La formulación sobre la que se sustenta el modelo sintético de vehículo privado se basa en el estudio detallado de la Encuesta de Movilidad de 2005 para poder obtener una matriz de movilidad en vehículo privado de referencia. Como aspectos claves que han condicionado la propuesta de la matriz “observada” a 2005 han sido en general:

- La importancia relativa de los viajes basados en el hogar
- El propósito del desplazamiento.

El periodo o momento del día en el que se produce la demanda de transporte. Las conclusiones más relevantes obtenidas del análisis de la EDM05 según estos criterios (más información y análisis de la EDM05 en el ANEXO E) es que:

- 1) Existe una gran simetría de los viajes basados en el hogar que representan más del 80% de la movilidad realizada en coche

**Tabla 3-17 Distribución del total de viajes diarios en vehículo privado según PROPÓSITO de origen y PROPÓSITO de destino.**

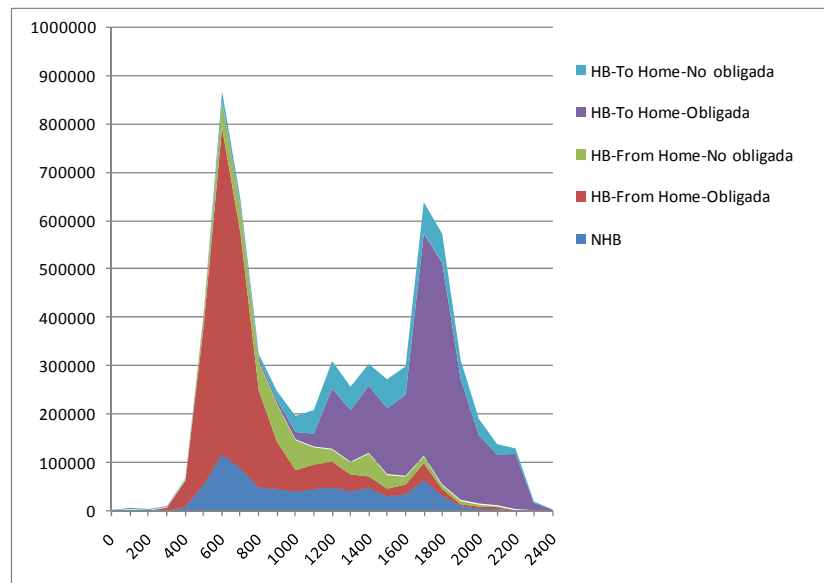
% total	motivo destino							Total general
	casa	trabajo	estudios	negocios	compras	asuntos personales	otros	
motivo origen								
casa	0.51%	22.72%	4.81%	1.00%	0.97%	10.26%	0.43%	40.70%
trabajo	23.44%	2.11%	0.36%	0.16%	0.09%	1.64%	0.04%	27.84%
estudios	4.44%	0.23%	0.13%	0.02%	0.01%	0.36%	0.03%	5.22%
negocios	0.97%	0.19%	0.01%	0.63%	0.03%	0.10%	0.02%	1.95%
compras	1.15%	0.17%	0.00%	0.01%	0.10%	0.14%	0.00%	1.57%
asuntos personales	11.07%	1.29%	0.34%	0.11%	0.17%	3.80%	0.03%	16.82%
otros	1.50%	2.56%	0.56%	0.04%	0.16%	0.99%	0.10%	5.90%
<b>Total general</b>	<b>43.08%</b>	<b>29.27%</b>	<b>6.20%</b>	<b>1.97%</b>	<b>1.53%</b>	<b>17.30%</b>	<b>0.66%</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad de 2005

- 2) Que los motivos más relevantes de la movilidad en auto son trabajo y estudios (65% aproximadamente) como movilidad obligada y asuntos personales (27%) como movilidad no obligada. Entre ellos suponen más del 92% de la movilidad en vehículo liviano. El resto de motivos únicamente suponen entre el 7-8% de la movilidad detectada en la Encuesta Domiciliaria de 05.

- 3) Que la simetría y peso de los viajes basados en el hogar tiene una relevancia aún mayor referidos al periodo de hora punta en los que la movilidad obligada basada en el hogar supone más del 80% de la movilidad que se realiza en hora punta en vehículo liviano. Por otro lado, la simetría de ida y vuelta de los viajes se refleja claramente en la distribución horaria de los diferentes tipologías de desplazamientos

**Figura 3-36 Distribución horaria de la movilidad según la Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2005**



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta de Movilidad de 2005

En base a ello, y dada la estructuración de la movilidad detectada por la encuesta, se ha trabajado inicialmente en una segmentación de viajes en 4 grandes grupos de movilidad:

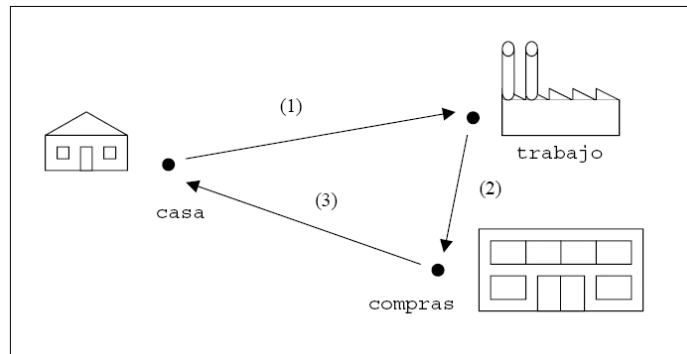
- CASA-TRABAJO (HW)
- CASA-ESTUDIOS(HE)
- CASA-OTROS(HO)
- NO BASADOS EN LA CASA (NHBO)

Para los tres primeros, y respondiendo a la estructura existente de movilidad, se han modelado bajo una planteamiento de “tour” que respete la asimetría temporal y simetría geográfica de la demanda en los viajes de ida y los de vuelta diarios, mientras que los no basados en hogar se han modelado bajo una estructura de tipo “viaje” y bajo un esquema de “cadena de viajes” en el que el número de viajes que genera una zona depende del número de viajes basados en el hogar que es capaz de atraer.

Para acometer esta agrupación según los diferentes segmentos de demanda, de los viajes detectados en la Encuesta de Movilidad de 2005, se ha procedido a sustituir aquellos desplazamientos en cadena realizados por viajes tipo *tour* o viajes singulares. La jerarquía utilizada para esta estructuración toma como actividades prioritarias las actividades de trabajo y estudios (movilidad obligada) frente al resto. De esta forma, los viajes basados en el hogar, son identificados, quedando también identificados los desplazamientos no basados en el hogar.

De esta forma y tal y como se muestra en la figura siguiente, cuando una persona realiza dos actividades en un día, primero de casa a trabajo y posteriormente, de vuelta a casa, realiza otra actividad de compras, esta cadena es transformada en un *tour* HW y un NHBO.

**Figura 3-37 Cadena típica de viajes.**



Fuente: *Elaboración propia*

Se puede realizar una desagregación más refinada separando por ejemplo los viajes de compras o los de negocios, pero dada la escasa relevancia en volumen de los desplazamientos diferentes a los 3 grandes grupos de actividades (trabajo, estudios, asuntos personales) justifica a priori esta estructuración agregada.

### 3.6.2.2 Planteamiento metodológico

A continuación se describen los tres submodelos antes mencionados.

#### 3.6.2.2.1 Submodelos de generación

El primer planteamiento metodológico, dadas las reflexiones derivadas del estudio de “de Validación de las matrices resultantes de la Encuesta de Movilidad mediante la Modelación de Transporte” realizado por Duarte Gutterman & Cía. Ltda. en las que se afirma que tanto en el proceso de expansión inicial, como en el de calibración, se muestra que los resultados no se pueden tomar a nivel de sector censal, es una formulación de un modelo que tome como unidad de generación de viajes el hogar, y con este planteamiento se ha iniciado el trabajo de modelización.

Esta modelación en el caso de alcanzar buenos ajustes estadísticos, será más conveniente que una modelación agregada zonal dado que no está condicionada por límites administrativos en su configuración y explicación..

El mecanismo tradicional para estimar los viajes generados es a través de la formulación de una ecuación lineal calibrada por el método de mínimos cuadrados. Los factores explicativos más comúnmente aceptados para justificar la generación de las personas son, entre otros:

- Estructura de hogar
- Tamaño del hogar
- Renta – nivel de ingresos

- Densidad residencial
- Accesibilidad
- Disponibilidad de vehículos particulares

El total de viajes de cada zona vendría dado en este caso por la agregación de los desplazamientos generados por cada subconjunto de familias u hogares que existen en cada zona, cada uno con su función de generación.

Desde el punto de vista matemático la formulación de este tipo de modelos tienen la siguiente expresión:

- Viajes generados / atraídos por zona i en una formulación por zona agregada:

$$Y_i = \alpha_1 + \alpha_2 X_{i1} + \alpha_3 X_{i2} + \dots + \alpha_n X_{in}$$

- Viajes generados / atraídos por zona i en una formulación de ajuste por hogar:

$$y = \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 x_2 \rightarrow Y_i = N_i * \bar{y} = N_i (\alpha_1 + \alpha_2 \bar{x}_{1i} + \alpha_3 \bar{x}_{2i})$$

Cuya expresión particular para el caso de utilizar variables dummy que segmenten la muestra en diferentes estratos:

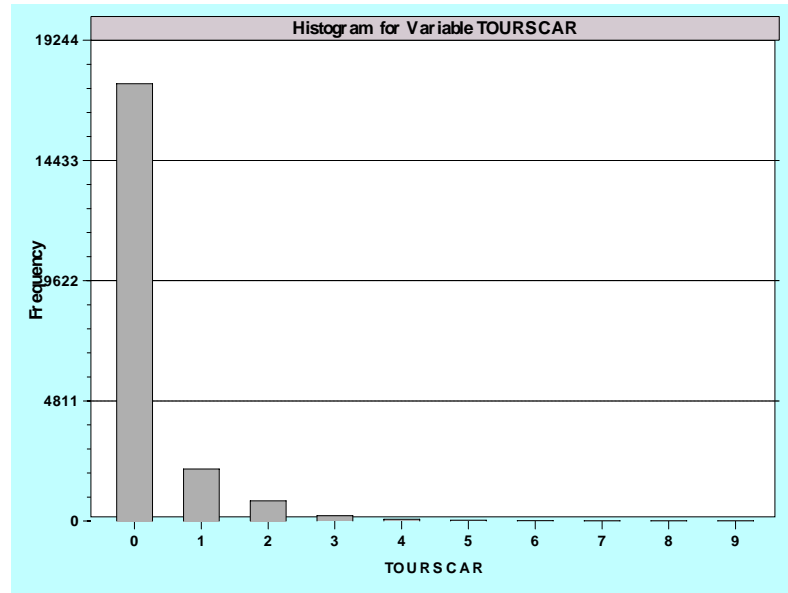
$$y = \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 Z_1 + \alpha_4 Z_2 \rightarrow Y_i = N_i (\alpha_1 + \alpha_2 \bar{x}_{1i}) + \alpha_3 N_1 + \alpha_4 N_2$$

Donde Z sería una variable muda (0,1) y por tanto demandaría identificar cuántos de los hogares de la zona i ( $N_i$ ) pertenecen a cada estrato o segmento ( $N_1$  y  $N_2$ )

Sin embargo, los modelos de generación para los viajes diarios en auto basados en el hogar se han resuelto bajo una metodología de elección discreta que se justifica de la siguiente forma:

- La metodología de regresión lineal agregada zonal ajustada por mínimos cuadrados se ha desestimado por las razones anteriormente expresadas respecto a la información de la encuesta de movilidad.
- La metodología de regresión lineal por hogar que podría ser la mejor aproximación a priori queda en entredicho en el momento en que la variable a explicar tiene una distribución que no sigue una distribución normal sino que sigue una distribución como la siguiente:

**Figura 3-38 Frecuencia de hogares según el número de tours diarios en auto**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la encuesta de movilidad de 2005

**Tabla 3-18 Histograma para los “tours” realizados por los hogares encuestados**

Número de hogares observados= 20686,		
Tours	Frecuencia (porcentaje)	Acumulado (porcentaje)
0	17494(.8457)	17494 (.8457)
1	2075(.1003)	19569 (.9460)
2	804(.0389)	20373 (.9849)
3	210(.0102)	20583 (.9950)
4	66(.0032)	20649 (.9982)
5	24(.0012)	20673 (.9994)
6	9(.0004)	20682 (.9998)
7	2(.0001)	20684 (.9999)
8	1(.0000)	20685 (1.0000)
9	1(.0000)	20686 (1.0000)

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la encuesta de movilidad de 2005

Por tanto, dada la baja frecuencia de viajes en vehículo privado se ha optado para este tipo de desplazamientos un modelo probabilístico de elección discreta binomial en el que cada individuo de la población de estudio tiene la opción de realizar o no un viaje en auto. La frecuencia de viajes en modo auto para cada uno de los segmentos de demanda es referida por tanto a una respuesta discreta en la que se representa el número de ocurrencias de un evento dentro de un dominio dado. Así, sin pérdida de generalidad, un modelo de elección discreta puede usarse porque se asume que el número de eventos

que ocurren en cada caso dentro de una observación determinada será dominado por el ratio de ocurrencia de los eventos.

Para la elección de las variables explicativas se han explorado las interrelaciones entre la variable frecuencia de viajes generados y las variables independientes obtenidas de la Encuesta de Movilidad de 2005. En un análisis a nivel de individuo / hogar y de sus tours basados en el hogar en auto según los diferentes segmentos de demanda se obtienen las siguientes estadísticas descriptivas:

**Tabla 3-19 Estadísticas descriptivas de las variables de la muestra a nivel de individuo**

A NIVEL INDIVIDUO	DISP VEH	ESTR	EMP	EST	%trab	%est	DENS. RES	tours trab	tours est	Tours otros	Total
Media	0.074	2.380	0.424	0.296	0.400	0.287	241.521	0.051	0.011	0.018	0.080
Error típico	0.001	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001	0.674	0.001	0.000	0.001	0.001
Mediana	0	2	0	0	0.375	0.286	234.130	0	0	0	0
Moda	0	2	0	0	0.5	0	16.322	0	0	0	0
Desv. estándar	0.155	1.099	0.494	0.457	0.227	0.221	170.978	0.227	0.106	0.147	0.292
Var. muestra	0.024	1.207	0.244	0.208	0.051	0.049	29233.421	0.051	0.011	0.022	0.086
Curtosis	11.304	0.894	-1.905	-1.204	0.350	-0.804	-0.324	20.197	124.603	107.405	21.216
Coef. Asimet.	2.811	0.175	0.308	0.892	0.589	0.167	0.468	4.466	10.208	9.352	4.021
Rango	2	6	1	1	1	1	745.7	3	4	4	6
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	2	6	1	1	1	1	745.7	3	4	4	6
Observaciones	64281	64281	64281	64281	64281	64281	64281	64281	64281	64281	64281
Mayor (1)	2	6	1	1	1	1	745.7	3	4	4	6
Menor(1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la encuesta de movilidad de 2005

**Tabla 3-20 Estadísticas descriptivas de las variables de la muestra a nivel de hogar**

A NIVEL DE HOGAR	Tamaño de hogar	Trabajadores en el hogar	Estudiantes en el hogar	Estrato del hogar	Vehículos en el hogar	Número de miembros del hogar menores de 25 años	Número de miembros del hogar entre 25 y 60 años
Media	3.811	1.459	1.027	2.414	0.264	1.348	1.891
Error típico	0.011	0.007	0.007	0.008	0.004	0.008	0.006
Mediana	4	1	1	2	0	1	2
Moda	4	1	0	3	0	1	2
Desv. estándar	1.600	0.947	1.071	1.124	0.524	1.190	0.921
Var. muestra	2.560	0.897	1.146	1.264	0.274	1.416	0.849
Curtosis	6.775	1.859	3.970	0.866	6.270	3.097	2.082
Coef. Asimet.	1.144	0.838	1.147	0.185	2.189	0.987	0.577
Rango	24	9	18	6	6	18	9
Mínimo	1	0	0	0	0	0	0



A NIVEL DE HOGAR	Tamaño de hogar	Trabajadores en el hogar	Estudiantes en el hogar	Estrato del hogar	Vehículos en el hogar	Número de miembros del hogar menores de 25 años	Número de miembros del hogar entre 25 y 60 años
Máximo	25	9	18	6	6	18	9
Observaciones	20686	20686	20686	20686	20686	20686	20686
Mayor (1)	25	9	18	6	6	18	9
Menor(1)	1	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la encuesta de movilidad de 2005

A través de este análisis se puede apreciar las diferentes distribuciones de las observaciones obtenidas en la Encuesta domiciliar de movilidad de 2005. Pero para profundizar en el análisis de la interrelación entre las variables dependientes (viajes- tour en auto según propósito), y las variables explicativas, se testea la correlación entre las variables. Del mismo modo se analizaron las correlaciones entre las variables independientes y la frecuencia de viajes. En este caso, una matriz de correlaciones de Pearson se muestra como paso previo para seleccionar las variables que van a introducirse en el modelo, tanto para explicar de mejor manera el fenómeno, como para evitar correlaciones potenciales entre las variables explicativas.

**Tabla 3-21 Matriz de Correlaciones entre variables**

	VEH HH	TAM HH	DISP VEH	ESTR	EMP	EST	%trab	%est	DENS RES	tours trab	tours est	Tours otros	Total
<b>VEH HH</b>	1												
<b>TAM HH</b>	-0.045	1											
<b>DISP VEH</b>	0.902	-0.189	1										
<b>ESTR</b>	0.409	-0.190	0.416	1									
<b>EMP</b>	0.024	-0.012	0.023	0.039	1								
<b>EST</b>	-0.018	0.008	-0.016	-0.034	-0.557	1							
<b>%trab</b>	0.112	-0.221	0.163	0.121	0.041	-0.026	1						
<b>%est</b>	-0.020	0.197	-0.080	-0.056	-0.023	0.050	-0.411	1					
<b>DENSIDAD RES</b>	-0.095	-0.006	-0.094	0.121	-0.014	-0.016	-0.024	-0.029	1				
<b>tours trab</b>	0.338	-0.087	0.370	0.213	0.012	-0.009	0.157	-0.059	-0.043	1			
<b>tours est</b>	0.147	-0.014	0.134	0.096	0.005	-0.003	-0.008	0.069	-0.025	0.009	1		
<b>Tours otros</b>	0.162	-0.066	0.190	0.137	0.006	-0.007	-0.004	-0.043	-0.034	0.006	0.010	1	
<b>Total</b>	0.397	-0.106	0.431	0.269	0.014	-0.012	0.117	-0.042	-0.060	0.782	0.375	0.511	1

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la encuesta de movilidad de 2005

Vistas las correlaciones existentes tanto entre las variables explicativas y las variables dependientes como las existentes entre las propias variables independientes, se ha formulado para los viajes basados en el hogar (que representan más del 80% de la movilidad diaria) un modelo binomial con la siguiente función de utilidad para la alternativa "tour" y la alternativa "no-tour" para cada tipo de persona del segmento de demanda k que reside en la zona i:

$$V_{i,tour}^k = \alpha + \sum_k \beta_k X_{i,k} + \beta_c X_{c,k} + \beta_{acc} X_{dens,i}$$

$$V_{i,NO-tour}^k = 0$$

Donde:

- $\alpha$  = constante que asegura los viajes totales observados
- $X_k$  = variable dummy o muda vinculada a la condición socioeconómica del individuo -estrato
- $X_{dens,i}$  = variable que recoge la densidad urbana del área  $i$  donde reside.
- $X_c$  = variable asociada a la disponibilidad de vehículos en el hogar (Vehículos / tamaño del hogar)

De esta forma la probabilidad que se realice un tour por una persona residente en una zona  $i$  según esta formulación binomial viene dado por la siguiente expresión:

$$P_i = \frac{e^{\alpha + \sum_k \beta_k S_{i,k} + \beta_c X_{c,i} + \beta_{dens} X_{dens,i}}}{1 + e^{\alpha + \sum_k \beta_k S_{i,k} + \beta_c X_{c,i} + \beta_{dens} X_{dens,i}}}$$

Donde

- $\alpha$  = constante que asegura los viajes totales observados
- $S_{i,k}$  = proporción de población en la zona  $i$  en cada una de las escalas socioeconómicas
- $X_{c,i}$  = tasa de motorización media de cada zona  $i$
- $X_{dens}$  = densidad urbana de la zona  $i$

El número de desplazamientos que se generan en una zona  $i$  es la población multiplicada por la dicha probabilidad.

Con esta aproximación se ha trabajado la generación de viajes basados en el hogar para los motivos trabajo, estudios y otros bajo una estructura de "tour". Únicamente quedaría modelizar los viajes no basados en el hogar los cuales forman parte de una cadena de viajes que realizan determinados individuos. Dada esta característica intrínseca de este tipo de desplazamientos, la generación de viajes se han estimado a partir de un modelo de regresión zonal asociado a la capacidad de atracción de cada zona de los desplazamientos basados en el hogar, puesto que éstos serán los que potencialmente van a generar viajes no basados en el hogar.. El ajuste del modelo zonal agregado de generación de viajes no basados en el hogar se ha realizado mediante mínimos cuadrados ordinarios como aproximación metodológica.

### 3.6.2.2.2 Submodelo de atracción

Para el caso de la atracción de los desplazamientos, el método utilizado ha sido el de la formulación de un método de regresión lineal agregado a nivel de zona. Las variables más comúnmente aceptadas para este tipo de modelos tienen que ver con variables como usos del suelo en forma de superficie dotada para cada una de las actividades predominantes (educación, comercio, servicios, industria,...), el número de empleos para diferentes tipologías de actividad (sector primario, secundario, terciario, comercio minoritario,...), o la situación dotacional de cada zona como por ejemplo plazas educativas, camas de hospital, etc...

Para este caso, y dada la limitación en cuanto a la información disponible desagregada al nivel zonal que requería la modelización se ha tenido que trabajar con variables mucho más generales. Para el caso de la atracción de los desplazamientos, las variables explicativas han sido principalmente asociadas a la situación y localización del empleo o de plazas educativas y al uso de variables complementarias *mudas-dummies* que interactúan con la variable explicativa principal (empleo) de tal forma que diferencian el empleo en zonas ubicadas en zonas con predominancia de estratos de alto nivel socioeconómico frente a zonas de bajo nivel socioeconómico. Otras variables complementarias utilizadas han sido la disponibilidad de aparcamientos-estacionamientos fuera de vía o la propia densidad de la zona. En el caso de tours con motivo estudios, dado que no se ha conseguido una variable explicativa con la desagregación zonal necesaria, no se ha podido establecer una correlación fiable. Es por ello que se ha optado, dada la mayor singularidad de los nodos de atracción (son centros puntuales y muy localizados) por mantener los propios viajes atraídos zonales como variable explicativa de la atracción. Eso tiene consecuencias directas en el modelo de distribución utilizado como puede apreciarse en el siguiente apartado. Los ajuste de estos modelos de atracción agregados se han realizado bajo mínimos cuadrados ordinarios.

### 3.6.2.2.3 Submodelos de distribución

El submodelo de distribución se ha formulado como un modelo gravitacional con función gamma como función de impedancia al desplazamiento.

$$V_{ij}^n = A_i^n O_i^n B_j^n D_j^n f(\tilde{C}_{ij}^n)$$

Donde  $f(\tilde{C}_{ij}^n) = \tilde{C}_{ij}^{n\alpha} \exp(\beta \tilde{C}_{ij}^n)$  es la función de impedancia relacionada con el coste generalizado compuesto entre cada par de zonas  $i, j$  con parámetros  $\alpha > 0$  y  $\beta < 0$ ,  $A_i$  y  $B_j$  como factores de balanceo que se obtienen a partir de:

$$A_i^n = \frac{1}{\sum_j B_j^n D_j^n f(\tilde{C}_{ij}^n)}$$

$$B_j^n = \frac{1}{\sum_i A_i^n O_i^n f(\tilde{C}_{ij}^n)}$$

El coste generalizado utilizado para la calibración de este modelo para cada uno de los propósitos o tipologías de movilidad en auto ha sido la variable tiempo de desplazamiento sin sumarle el tiempo de conector para cada relación  $ij$ .

Los viajes intra -zonales se han omitido de esta calibración.

El procedimiento de calibración econométrico que se está utilizando está basado en mínimos cuadrados ordinarios en dos etapas iterativo. Los viajes quedan determinados, como ya se ha expresado anteriormente, por la siguiente formulación:

$$V_{ij}^n = A_i^n O_i^n B_j^n D_j^n \tilde{C}_{ij}^{n\alpha} \exp(\beta \tilde{C}_{ij}^n)$$

Aplicando el logaritmo natural sobre esa expresión se obtiene:

$$\ln(V_{ij}^n) = \ln(A_i^n B_j^n) + \ln(O_i^n) + \ln(D_j^n) + \alpha \ln(\tilde{C}_{ij}^n) + \beta \tilde{C}_{ij}^n$$

$$\ln(V_{ij}^n) - \ln(O_i^n) - \ln(D_j^n) = \ln(A_i^n B_j^n) + \alpha \ln(\tilde{C}_{ij}^n) + \beta \tilde{C}_{ij}^n$$

Dado que  $\ln(A_i B_j)$  es dependiente de  $\alpha$  y  $\beta$ , no puede calibrarse de forma directa. Para ello se propone un procedimiento de estimación iterativo de tal forma que se puedan estimar  $A_i$  y  $B_j$  de forma consistente conjuntamente con el resto de parámetros.

La función a estimar sería:

$$\underbrace{\ln(V_{ij}^n) - \ln(O_i^n) - \ln(D_j^n)}_{Y_{ij}} = \underbrace{\ln(A_i^n B_j^n)}_{\phi_{ij}} + \alpha \ln(\tilde{C}_{ij}^n) + \beta \tilde{C}_{ij}^n$$

Y el proceso iterativo de resolución pasaría por los siguientes pasos:

- Paso 1:** Definir valores iniciales de  $\alpha_0$  y  $\beta_0$ .
- Paso 2:** Con estos valores iniciales de  $\alpha_0$  y  $\beta_0$  y con las variables exógenas conocidas de  $C_{ij}$  calcular mediante balanceo los parámetros  $A_{i0}$  y  $B_{j0}$ .
- Paso 3:** Con los parámetros  $A_{i0}$  y  $B_{j0}$ , estimar una nueva variable endógena:  
 $Y_{ij0} = Y_{ij} - \ln(A_{i0} B_{j0}) = Y_{ij} - \phi_{ij0}$
- Paso 4:** Definir el modelo  $Y_{ij0} = \alpha \ln(\tilde{C}_{ij}^n) + \beta \tilde{C}_{ij}^n + \varepsilon_{ij}$  y estimar los parámetros  $\alpha'_0$  y  $\beta'_0$  mediante mínimos cuadrados
- Paso 5:** Comparar los valores  $\alpha'_0$  y  $\beta'_0$  con  $\alpha_0$  y  $\beta_0$ , si las diferencias son menores que un valor predeterminado, finalizar el proceso. En caso contrario, proceder de nuevo a partir del paso 2 con los nuevos valores  $\alpha'_0$  y  $\beta'_0$  hasta que el proceso converja.

La validación de los resultados en este modelo vendrán dados por la capacidad de presentar por parte del modelo las pautas de distribución de los viajes según las recogidas en la muestra de la encuesta domiciliaria de 2005. En este caso, se persigue que la función parametrizada anteriormente reproduzca en la mejor manera posible la distribución usual de los desplazamientos según el criterio seleccionado, en este caso, el tiempo empleado en desplazarse. Está comprobado que aquellos que residen en áreas periféricas realizan desplazamientos más largos que aquellos que residen en espacios más céntricos y urbanos, no sólo por la distribución de actividades, sino también porque las velocidades de desplazamiento son mayores. Es por ello que se selecciona el tiempo como medida que mejor representa el comportamiento de la movilidad en este caso.

En el caso de estudios, dado que no se ha conseguido información de una variable explicativa al nivel zonal deseado por lo que se ha mantenido los propios viajes observados como la variable explicativa de la atracción. El modelo de distribución por tanto no puede ser doblemente acotado, sino un modelo simplemente condicionado bajo la típica formulación:

$$V_{ij}^n = O_i^n \frac{Atr_j^n f(\tilde{C}_{ij}^n)}{\sum_j Atr_j^n f(\tilde{C}_{ij}^n)}$$

Donde  $O_i$  son los viajes generados por cada zona con motivo estudios,  $Atr_j$  son los viajes observados de cada zona y  $F(C_{ij})$  es la función de impedancia.

### 3.6.2.3 Estimación de la movilidad en hora punta

Para transformar matrices tour y matrices OD en matrices diarias para determinados periodos del día de cara a su utilización para cada periodo de tiempo  $k = \{\text{Punta mañana, tarde, mediodía, resto de horas}\}$  se formula la siguiente transformación:

$$V_{ij}^k = V_{ij}^{tour} \times ToD_{origcasa}^k + V_{ji}^{tour} \times ToD_{destcasa}^k + V_{ij}^{nhb} \times ToD_{nhb}^k$$

Donde ToD representa el porcentaje de los viajes en ese periodo  $k$  y por cada propósito sobre el total de los viajes diarios diferenciando en el caso de los tour, para cada  $ij$  aquellos que tiene como origen casa en  $i$  o aquellos que vuelven a  $j$  desde  $i$  con otro propósito de origen.

En la Encuesta domiciliaria de 2005, estos repartos se estructuran de la forma que se indica en la tabla adjunta.

**Tabla 3-22 Cuadro de ratios tours hora punta FH –TH.**

ToD	trabajo		estudios		otros		NHB	Total general	
	FROM home	TO home	FROM home	TO home	FROM home	TO home		FROM home	TO home
Tramo horario									
Hora punta mañana	23.28%	0.09%	48.74%	0.79%	11.43%	2.55%	13.03%	22.59%	1.01%
Hora punta tarde	0.60%	20.94%	1.04%	6.76%	2.02%	8.38%	4.42%	1.10%	15.13%
Out of peak	76.11%	78.96%	50.22%	92.45%	86.55%	89.07%	82.56%	76.31%	83.85%
Total general	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

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

A estos se le añadirían el porcentaje de viajes no basados en el hogar sobre el total de todos ellos que se realizarían en los mismos periodos indicados.

### 3.6.3 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS MODELOS PROPUESTOS

La principal validación de estos modelos será:

- A nivel de ajuste y capacidad de predicción respecto a la muestra observada. En el caso que nos ocupa, esta capacidad vendrá dada por la capacidad de replicar la movilidad detectada a un nivel de agregación superior como por ejemplo el nivel administrativo de UPZ.
- La significancia de las variables incluidas como independientes
- La replicación de tasas de generación-atracción similares a las obtenidas en la EDM05

Una comprobación relevante, como se ha comentado es valorar la capacidad del modelo para mantener ciertas pautas de movilidad. En cuanto a la generación de viajes, una técnica muy utilizada es la de análisis por categorías en la que la media de la variable dependiente (en este caso viajes) se estructura según diferentes categorías dadas por variables independientes. El análisis por categorías asume que las

tasas de generación son estables en el tiempo. El problema de este método radica en la estimación a futuro del número de hogares para cada categoría. El análisis de clasificación múltiple complementa al anterior en el sentido que permite estimar esas tasas de generación incluso en celdas o categorías en las que no existe una muestra representativa de hogares para su estimación.

Según la Encuesta Domiciliaria de Movilidad de 2005, las tasas de generación de viajes según un análisis por categorías se expresan en las siguientes tablas. Sin entrar en la construcción o estimación de nuevos ratios para estas celdas en las que la escasez de hogares de muestra (50 como número convencional mínimo requerido para estimar valores fiables de media y varianza de las tasas de viaje) se aportan las tablas “brutas” que se obtienen de la Encuesta Domiciliaria.

Para este estudio, la tasa media obtenida por estrato es una variable relevante que va a servir de contraste para los modelos calibrados.

**Tabla 3-23 tasas de generación de tours en auto con motivo trabajo por categorías de estrato y vehículos en el hogar**

Promedio de tours TRABAJO	VEHÍCULOS EN EL HOGAR					Total general
	0	1	2	3	4+	
ESTRATO						
1	0.00	0.08	0.33	0.00	-	0.01
2	0.01	0.11	0.18	0.05	-	0.02
3	0.01	0.15	0.29	0.28	0.10	0.06
4	0.06	0.21	0.33	0.38	0.40	0.17
5	0.13	0.24	0.39	0.23	0.57	0.25
6	0.11	0.34	0.31	0.44	0.40	0.31
Total general	0.01	0.16	0.32	0.32	0.37	0.05

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

**Tabla 3-24 tasas de generación de tours en auto con motivo trabajo por categorías de estrato y tamaño del hogar**

Promedio de tours TRABAJO	TAMAÑO HOGAR								Total general
	1	2	3	4	5	6	7	8+	
ESTRATO									
1	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
2	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
3	0.14	0.07	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.06
4	0.27	0.19	0.18	0.18	0.16	0.13	0.15	0.13	0.17
5	0.43	0.28	0.23	0.28	0.22	0.18	0.15	0.33	0.25
6	0.60	0.37	0.32	0.27	0.32	0.11	0.00		0.31
Total general	0.17	0.09	0.07	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.05

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

Tabla 3-25 Tasas de generación de tours en auto con motivo estudios por categorías de estrato y vehículos en el hogar

Promedio de tours ESTUDIO	VEHÍCULOS EN EL HOGAR				
	0	1	2	3	Total general
ESTRATO					
1	0.001	0.000	0.037	0.333	0.002
2	0.002	0.019	0.055	0.000	0.004
3	0.005	0.030	0.059	0.020	0.014
4	0.015	0.032	0.072	0.124	0.033
5	0.005	0.054	0.049	0.172	0.051
6	0.010	0.063	0.094	0.116	0.075
<b>Total general</b>	<b>0.004</b>	<b>0.029</b>	<b>0.068</b>	<b>0.111</b>	<b>0.011</b>

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

Tabla 3-26 Tasas de generación de tours en auto con motivo estudios por categorías de estrato y tamaño del hogar

Promedio de tours ESTUDIO	TAMAÑO HOGAR							Total general
	1	2	3	4	5	6	7	
ESTRATO								
1	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002
2	0.000	0.000	0.002	0.007	0.005	0.001	0.003	0.004
3	0.019	0.008	0.008	0.018	0.013	0.018	0.008	0.014
4	0.049	0.023	0.036	0.029	0.040	0.023	0.032	0.033
5	0.000	0.033	0.054	0.055	0.068	0.050	0.000	0.051
6	0.086	0.021	0.085	0.079	0.074	0.191	0.000	0.075
<b>Total general</b>	<b>0.023</b>	<b>0.009</b>	<b>0.011</b>	<b>0.015</b>	<b>0.012</b>	<b>0.009</b>	<b>0.005</b>	<b>0.011</b>

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

Tabla 3-27 Tasas de generación de tours en auto con motivo otros por categorías de estrato y vehículos en el hogar

Promedio de tours OTROS	VEHÍCULOS EN EL HOGAR				
	0	1	2	3	Total general
ESTRATO					
1	0.001	0.041	0.111	0.000	0.003
2	0.002	0.016	0.073	0.000	0.004
3	0.007	0.042	0.074	0.180	0.019
4	0.039	0.080	0.113	0.079	0.070
5	0.083	0.094	0.093	0.094	0.092
6	0.093	0.200	0.179	0.095	0.166
<b>Total general</b>	<b>0.006</b>	<b>0.050</b>	<b>0.109</b>	<b>0.096</b>	<b>0.019</b>

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

**Tabla 3-28 tasas de generación de tours en auto con motivo otros por categorías de estrato y tamaño del hogar**

Promedio de tours OTROS	TAMAÑO HOGAR							Total general
	1	2	3	4	5	6	7	
ESTRATO								
1	0.000	0.014	0.006	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003
2	0.015	0.005	0.006	0.003	0.005	0.003	0.004	0.004
3	0.041	0.042	0.021	0.021	0.014	0.007	0.005	0.019
4	0.142	0.099	0.080	0.062	0.051	0.053	0.019	0.070
5	0.297	0.213	0.083	0.064	0.036	0.100	0.031	0.092
6	0.429	0.210	0.199	0.131	0.074	0.106	0.571	0.166
<b>Total general</b>	<b>0.089</b>	<b>0.049</b>	<b>0.024</b>	<b>0.018</b>	<b>0.013</b>	<b>0.008</b>	<b>0.006</b>	<b>0.019</b>

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

**Tabla 3-29 Número de hogares por celda por categorías de estrato y vehículos en el hogar**

Promedio de tours OTROS	VEHÍCULOS EN EL HOGAR					Total general
	0	1	2	3		
ESTRATO						
1	7362	419	27	6		7814
2	20590	2612	109	20		23331
3	15827	6459	473	50		22809
4	1787	2448	638	89		4962
5	193	597	247	64		1101
6	97	285	308	95		785
<b>Total general</b>	<b>45856</b>	<b>12820</b>	<b>1802</b>	<b>324</b>		<b>60802</b>

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

**Tabla 3-30 Número de hogares por celda por categorías de estrato y tamaño del hogar**

Promedio de tours OTROS	TAMAÑO HOGAR							Total general
	1	2	3	4	5	6	7	
ESTRATO								
1	56	281	1016	1891	1969	1300	1301	7814
2	37	1297	3932	7092	5592	2933	2348	23331
3	267	1918	4786	7040	4968	2292	1538	22809
4	62	654	1082	1539	1070	300	155	4962
5	37	150	276	345	221	40	32	1101
6	35	143	176	229	148	47	7	785
<b>Total general</b>	<b>94</b>	<b>4443</b>	<b>11268</b>	<b>18136</b>	<b>13968</b>	<b>6912</b>	<b>5381</b>	<b>60802</b>

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



### 3.6.3.1 Calibración y validación de los modelos de generación

La calibración de los modelos de generación, como ya se describió en el apartado de formulación, tienen dos metodologías diferenciadas. La primera vinculada a la generación de viajes en auto en los segmentos de demanda vinculados a los desplazamientos basados en el hogar y con propósito trabajo, estudios y otros, y por otro lado los desplazamientos de viajes no basados en el hogar siendo estos parte de una cadena de desplazamientos multipropósito de un individuo.

El proceso de evaluación de los modelos estimados implica realizar las siguientes verificaciones:

- Consistencia de signos.
- Nivel de significancia de los parámetros a partir del estadístico t.. Si se desea un nivel de significancia del 5%, el valor crítico es 1,96; a su vez, para el 10% tal valor es 1,64.
- Índice rho cuadrado. Si bien los resultados de este índice no deben confundirse con el estadístico  $R^2$  de la regresión lineal por mínimos cuadrados, permiten comparar el ajuste general del modelo prefiriéndose siempre el modelo que tenga el mayor índice.

Los primeros se han ajustado utilizando un modelo de elección discreta con un método de máxima verosimilitud dando los siguientes resultados:

- Tours-trabajo basados en el hogar con variables explicativas: Estrato socioeconómico del individuo trabajador, tasa de motorización, densidad.

**Figura 3-39 Tours Basados en el Hogar con propósito trabajo**

```

+-----+
| Discrete choice and multinomial logit models |
+-----+
+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates |
| Dependent variable | Choice | | |
| Number of observations | 27230 |
| Log likelihood function | -4414.280 |
| R2=1-LogL/LogL* | Log-L fncn | R-sqrd | RsqAdj |
| Constants only | -5588.1089 | .21006 | .20983 |
| Chi-squared[ 7] | = 2347.65689 |
| Prob [ chi squared > value ] = .00000 |
| Response data are given as ind. choice. |
| Number of obs.= 27230, skipped 0 bad obs. |
+-----+

+-----+-----+-----+-----+-----+
| Variable | Coefficient | Standard Error | b/St.Er. | P[ |Z| > z] |
+-----+-----+-----+-----+-----+
ASC_TOUR | -4.45978809 | .13507736 | -33.017 | .0000
F_ESTR2 | .46048553 | .15674003 | 2.938 | .0033
F_ESTR3 | 1.22878567 | .14410795 | 8.527 | .0000
F_ESTR4 | 1.70011147 | .15097084 | 11.261 | .0000
F_ESTR5 | 1.60985538 | .18525677 | 8.690 | .0000
F_ESTR6 | 1.42014548 | .19765441 | 7.185 | .0000
F_DISPVE | 4.46384902 | .14685099 | 30.397 | .0000
F_DENS | -.00075584 | .00022410 | -3.373 | .0007

```

Como puede observarse, el modelo tiene una estructura general robusta en la que las variables tienen signos coherentes, son significativas así como el valor que toman tiene coherencia. La variable que representa al estrato sigue una pauta creciente con el nivel de estrato salvo en los estratos más altos (5 y 6) en los que la variable tiene una tendencia un poco decreciente que resulta algo contradictoria puesto que a igualdad del resto de factores el estrato 4 generaría una ligera mayor probabilidad de usar el coche que los estratos superiores. Sin embargo esta diferencia es muy pequeña y mantiene el orden de magnitud similar al de los estratos “adyacentes”.

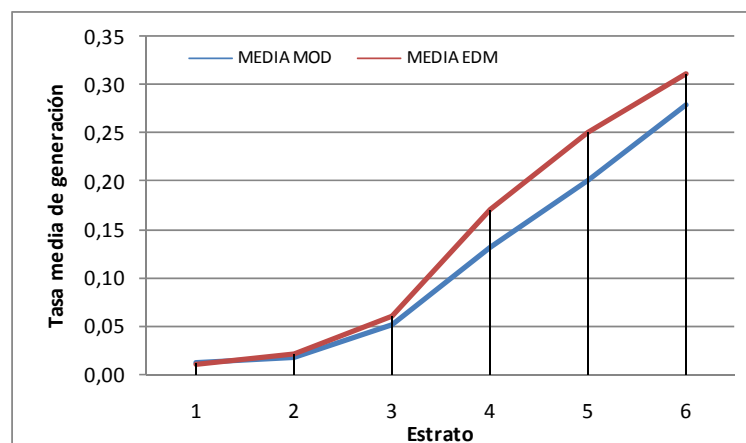
- En cuanto a la variable disponibilidad de vehículos, toma el signo correcto y con una alta significancia de tal forma que a mayor disponibilidad de vehículos, mayor es la probabilidad de realizar un tour en vehículo privado.
- La variable densidad toma un valor negativo significando que en aquellos espacios en los que hay una alta densidad residencial, la probabilidad de hacer un viaje en coche es menor que en los espacios de baja densidad. Por tanto, los resultados del modelo pueden darse por válidos.
- Se concluye que la variable disponibilidad de vehículos es una variable relevante en el modelo con un valor muy alto comparado con el valor que toma en el resto de propósitos.

El valor del  $\rho$  cuadrado (0.21) es apreciablemente alto. Visto de otra forma, el valor de la función de log-verosimilitud es mucho más cercana a cero (-4414.28) respecto de la obtenida únicamente con constantes (-5588.11).

La calibración se realizó con la muestra directa de la encuesta sin ningún tipo de ponderador o elevador de la muestra. Como ya se ha comentado anteriormente, el parámetro  $\alpha$  es un parámetro que asegura el total de los viajes observados, por lo que teniendo en cuenta la elevación de la muestra que hace la encuesta, el parámetro  $\alpha$  final es diferente al  $\alpha$  modelado con la muestra. El parámetro toma el valor en este caso de -3,327. Frente al -4,459 del modelo.

Una validación relativamente rápida del modelo es su capacidad para reproducir unas tasas de generación medias similares a las obtenidas directamente de la Encuesta Domiciliaria 2005.

**Figura 3-40 Tasas medias de Generación de viajes tipo tours trabajo según estrato observados y modelados**



Fuente: Elaboración propia

- Tours-estudio basados en el hogar con variables explicativas: Estrato socioeconómico del individuo estudiante, tasa de motorización, densidad.

**Figura 3-41 Tours Basados en el Hogar con propósito estudio**

```

+-----+
| Discrete choice and multinomial logit models |
+-----+
+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates |
| Dependent variable           Choice |
| Number of observations       19044 |
| Log likelihood function      -997.5557 |
| R2=1-LogL/LogL* Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj |
| Constants only -1110.1841  .10145  .10107 |
| Chi-squared[ 7] = 225.25678 |
| Prob [ chi squared > value ] = .00000 |
| Response data are given as ind. choice. |
| Number of obs.= 19044, skipped 0 bad obs. |
+-----+

+-----+-----+-----+-----+-----+
|Variable| Coefficient | Standard Error |b/St.Er.|P[|Z|>z]|
+-----+-----+-----+-----+-----+
ASC      | -4.38492159 | .22076012      | -19.863 | .0000
F_ESTR1  | -1.60704729 | .46540038      | -3.453  | .0006
F_ESTR2  | -1.13272452 | .31216950      | -3.629  | .0003
F_ESTR3  | .00160823   | .25369348      | .006    | .9949
F_ESTR4  | .01707264   | .28127914      | .061    | .9516
F_ESTR5  | .20615508   | .37150677      | .555    | .5790
F_DISPVE | 2.74768162  | .25610604      | 10.729  | .0000
F_DENS   | -.00075125  | .00054144      | -1.387  | .1653

```

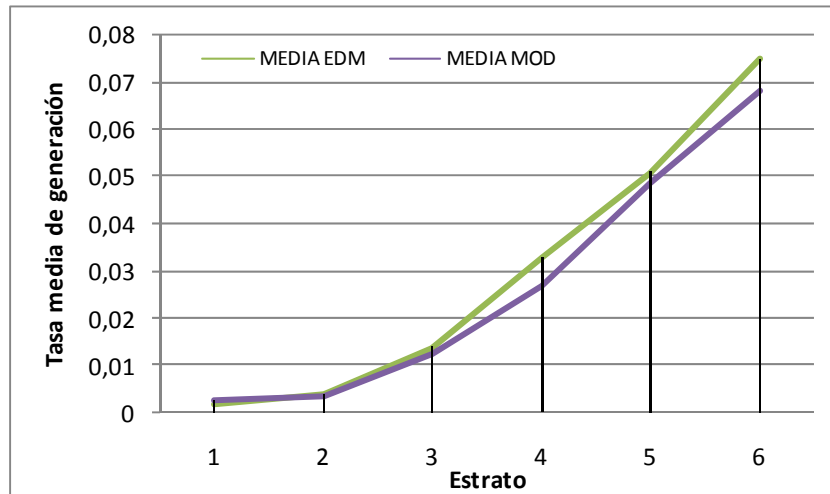
Fuente: Elaboración propia

En el caso del motivo estudios, dada la menor frecuencia de eventos dentro de este tipo de movilidad en la muestra analizada presenta una caracterización inferior en calidad a la obtenida en el modelo de desplazamientos con propósito trabajo. Hay que destacar la poca significancia de las variables referidas al estrato al que pertenece el individuo en los niveles 3, 4, 5.

Para corregir esta situación en la proyección definitiva de viajes con este propósito se ha tomado como referencia las tasas de generación medias por estrato con motivo estudios que presenta la EDM05. En la expansión a toda la población de estudio por tanto se ha corregido esta falta de significancia de estas variables atendiendo a las tasas medias por estrato que se obtenían, de tal forma que exista coherencia con las pautas de movilidad reflejadas en la encuesta y presentadas en anteriores apartados.

El resultado final de este ajuste es que la tasa de generación media por estrato es similar a la tasa obtenida en la EDM05.

Figura 3-42 Tasas medias de Generación de viajes tipo tours estudios según estrato observados y modelados



En el caso del parámetro  $\alpha$  para el ajuste del total de viajes expandidos, el parámetro toma el valor de -2,82 frente al -4,38 del modelo con la muestra.

- Tours-trabajo basados en el hogar con variables explicativas: Estrato socioeconómico de la población, tasa de motorización, densidad.

Figura 3-43 Tours Basados en el Hogar con propósito "otros"

```

+-----+
| Discrete choice and multinomial logit models |
+-----+
+-----+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates |
| Dependent variable             Choice |
| Number of observations         64281 |
| Log likelihood function        -4591.688 |
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj |
| Constants only  -5398.4179  .14944  .14933 |
| Chi-squared[ 7]           = 1613.45992 |
| Prob [ chi squared > value ] = .00000 |
| Response data are given as ind. choice. |
| Number of obs.= 64281, skipped  0 bad obs. |
+-----+
+-----+
| Variable | Coefficient | Standard Error | b/St. Er. | P[ |Z| > z ] |
+-----+
ASC        | -4.08399038 | .10094808      | -40.456   | .0000 |
F_ESTR1    | -1.69201204 | .22810070      | -7.418    | .0000 |
F_ESTR2    | -1.40377587 | .15004979      | -9.355    | .0000 |
F_ESTR3    | -.22658349   | .11529733      | -1.965    | .0494 |
F_ESTR4    | .55713651    | .11254432      | 4.950     | .0000 |
F_ESTR5    | .42538226    | .15039238      | 2.828     | .0047 |
F_DISPVE   | 3.03763937   | .11805930      | 25.730    | .0000 |
F_DENS     | -.00045100   | .00025200      | -1.790    | .0735 |

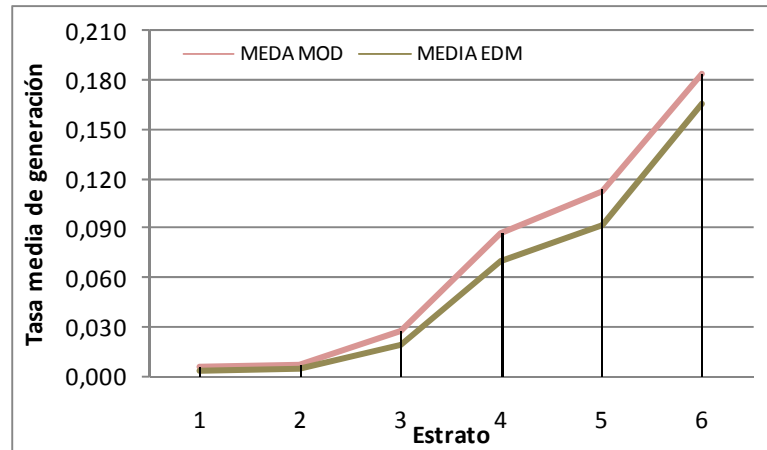
```

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo que en los casos anteriores, el parámetro  $\alpha$  es corregido para representar los viajes elevados de la muestra. En este caso, el nuevo valor que toma el parámetro es -3,42 frente a los -4,084 que toma con la calibración sobre la muestra sin expandir.

Como puede comprobarse, las tasas de generación obtenidas son muy similares a las tasas medias por estrato de la Encuesta Domiciliaria.

**Figura 3-44 Tasas medias de Generación de viajes tipo tours otros según estrato observados y modelados**



Fuente: Elaboración propia

Viajes no basados en el hogar con variables explicativas: Estrato socioeconómico, tasa de motorización, densidad. Para el caso de los viajes no basados en el hogar, la calibración se realizó como ya se ha explicado anteriormente, como una regresión lineal zonal como metodología más factible pese a los problemas de representatividad zonal. Las variables explicativas utilizadas tienen que ver principalmente con la capacidad de atracción de viajes del resto de segmentos de demanda de tal forma que éstos son el principal "motor" generador de nuevas etapas o cadenas de viajes. Se ha valorado incorporar nuevas variables explicativas a este modelo como por ejemplo si la zona es predominantemente de estratificación alta o la propia densidad residencial obteniéndose mejoras muy ligeras sobre el modelo simple por lo que se ha mantenido la simplicidad del modelo. Los coeficientes de Pearson que se obtienen para estas regresión a nivel zonal son de  $R^2=0.60$ .

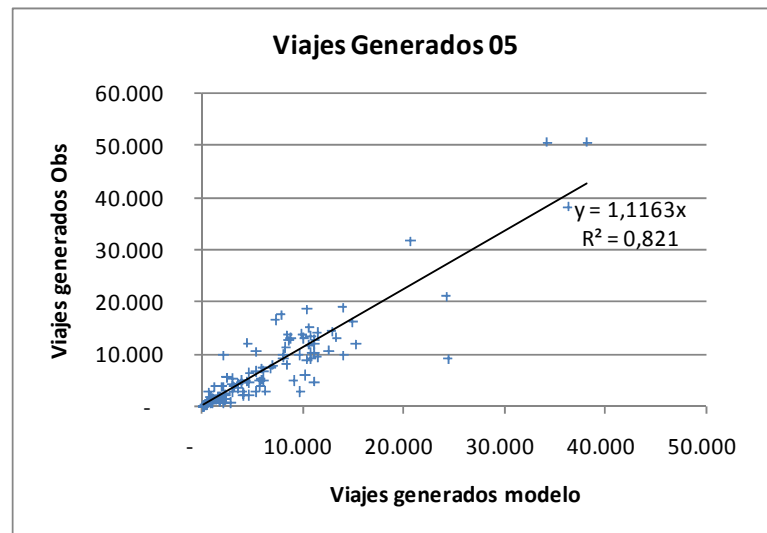
**Tabla 3-31 Parámetros, significancia (test-t) y coeficiente de Pearson de la función de Generación de viajes no basados en el hogar**

Segmento de demanda	Viajes Atraídos por Zona j de los viajes basados en hogar	R <sup>2</sup> a nivel zonal	R <sup>2</sup> a nivel de UPZ
Generación No basados en el hogar	0.29347 (30.772)	0.60	0.70

Fuente: Elaboración propia

El resultado final del modelo de generación como suma de todos los submodelos es un vector de generación de viajes diarios en auto para cada una de las zonas de estudio que unificadas por UPZ como nivel superior de agregación pueden compararse con las obtenidas en la Encuesta Domiciliaria da como resultado el siguiente gráfico de validación

Figura 3-45 Viajes Generados Modelo año 2005 - Viajes Generados Observados Encuesta Movilidad 2005.



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3.2 Calibración y validación de modelos de atracción.

La atracción se ha planteado a nivel zonal mediante una metodología de regresión lineal ajustada por mínimos cuadrados y con variables explicativas principalmente vinculadas a la localización del empleo, la densidad del área, o la predominancia en la zona de áreas estratificadas en los niveles 1 y 2 ó 5 y 6. Otra variable utilizada como complementaria ha sido la disponibilidad de aparcamientos fuera de vía.

$$A_j = Empleos_i(\alpha_1 + \alpha_2 ZONA56 + \alpha_2 ZONA12) + \alpha_3 APARC_j$$

Tabla 3-32 Parámetros, significancia (test-t) y coeficiente de Pearson de la función de Atracción

Segmento demanda	Empleo	Zonas Estrato 1y2	Zona Estrato 5 y 6	Est. Fuera de Vía	R <sup>2</sup> a nivel zonal	R <sup>2</sup> a nivel UPZ
Trabajo basado en hogar	0.054779 (17.606)	-0.021533 (-4.339)	0.043574 (6.006)	0.30046 (10.281)	0.69	0.85
Otros basado en hogar	0.02902 (11.048)	-0.01979 (-4.908)	0.03186(5.426)	0.146997(5.947)	0.47	0.75

Para el caso de los viajes no basados en el hogar, el modelo de atracción que mejor se ha comportado manteniendo el principio de simplicidad por el cual sólo se debe abandonar un modelo simple en favor de otro más complejo sólo cuando la evidencia a favor de este último sea fuerte. El modelo de atracción mantiene una fuerte correlación con la capacidad de atracción de viajes basados en el hogar del resto de tipologías del desplazamientos junto con una interacción de segundo grado con una zona de predominio de estrato alto (5 y 6).

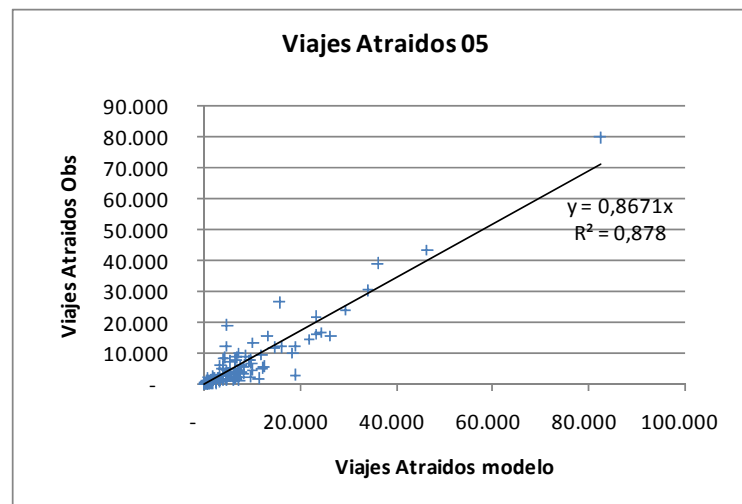
$$A_j = AtrHB_j(\alpha_1 + \alpha_2 ZONA56)$$

Segmento demanda	Viajes Atraídos por Zona j de los viajes basados en hogar	Zona Estrato 5 y 6	-	-	R <sup>2</sup> a nivel zonal	R <sup>2</sup> a nivel UPZ
No basados en hogar	0.31092 (22.523)	0.04723 (2.204)	-	-	0.61	0.84

Fuente: Elaboración propia

El análisis final comparando a nivel de UPZ de los viajes que se atraen diariamente en auto da como resultado una correlación de  $R^2 = 0,88$  lo que es muy aceptable.

**Figura 3-46 Viajes atraídos Modelo año 2005 - Viajes atraídos Observados Encuesta Movilidad 2005.**



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3.3 Calibración y validación de los modelos de distribución

El proceso de calibración se ha realizado según la formulación planteada en apartados anteriores. La función calibrada forma parte de diferentes modelos gravitacionales sobre los cuales se estiman los viajes OD de cada segmento de demanda respetando la generación y atracción de cada zona mediante un procedimiento de Furness y la pauta de movilidad del tiempo medio de desplazamiento. El único segmento de demanda que está simplemente condicionado por lo explicado en anteriores capítulos es el segmento de tours con propósito estudios.

Previamente a la calibración de los modelos de distribución se han cumplido con las condiciones de compatibilidad que obligan a que el total de los viajes generados sea igual al total de los viajes atraídos.

$$\sum G_i = \sum A_j$$

La restricción de compatibilidad puede aplicarse de diversas formas dando más o menos peso a los vectores de generación o atracción. Como formulación genérica del proceso de compatibilidad podría expresarse a partir de la aplicación de sendos parámetros correctores  $\alpha$  y  $\gamma$  de tal forma que su multiplicación a los vectores de generación y atracción obtenidos del proceso de modelación produzcan un volumen de viajes igual.

$$\alpha \sum a_i = \gamma \sum g_i$$

Expresado de otra forma, se puede definir un parámetro  $r$  con el cual se determina el peso relativo de ambos vectores en la aplicación de compatibilidad de tal forma que cuando  $r=1$ ,  $\alpha=1$  y por tanto los viajes generados se corrigen hasta sumar lo mismo que los viajes atraídos. En el caso de  $r=0$ , pasaría lo contrario y para  $r=0,5$ , el valor final de total de viajes sería la semisuma de los viajes generados y atraídos.

$$\alpha = r + (1 - r) \frac{\sum g_i}{\sum a_i}$$

$$\gamma = r \frac{\sum a_i}{\sum g_i} + 1 - r$$

En el caso de este estudio se ha ido tomando como vector de referencia el modelo que mayor “confiabilidad” tiene para el GC y en general se ha tomado como referencia el modelo de generación ( $r=0$ ) para todos los viajes basados en el hogar, mientras que se ha tomado la semisuma ( $r=0,5$ ) para los viajes no basados en el hogar.

Una vez compatibilizado los vectores de generación y atracción se calibra el modelo de distribución. Se recuerda que la formulación genérica del modelo gravitacional es la siguiente siendo necesaria la calibración de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la función de impedancia.

$$V_{ij}^n = A_i^n O_i^n B_j^n D_j^n \tilde{C}_{ij}^{n\alpha} \exp(\beta \tilde{C}_{ij}^n)$$

El resultado de la función de impedancia gamma para cada segmento de demanda ha quedado según los siguientes parámetros:

**Tabla 3-33 Parámetros de la función de impedancia de los modelos gravitacionales**

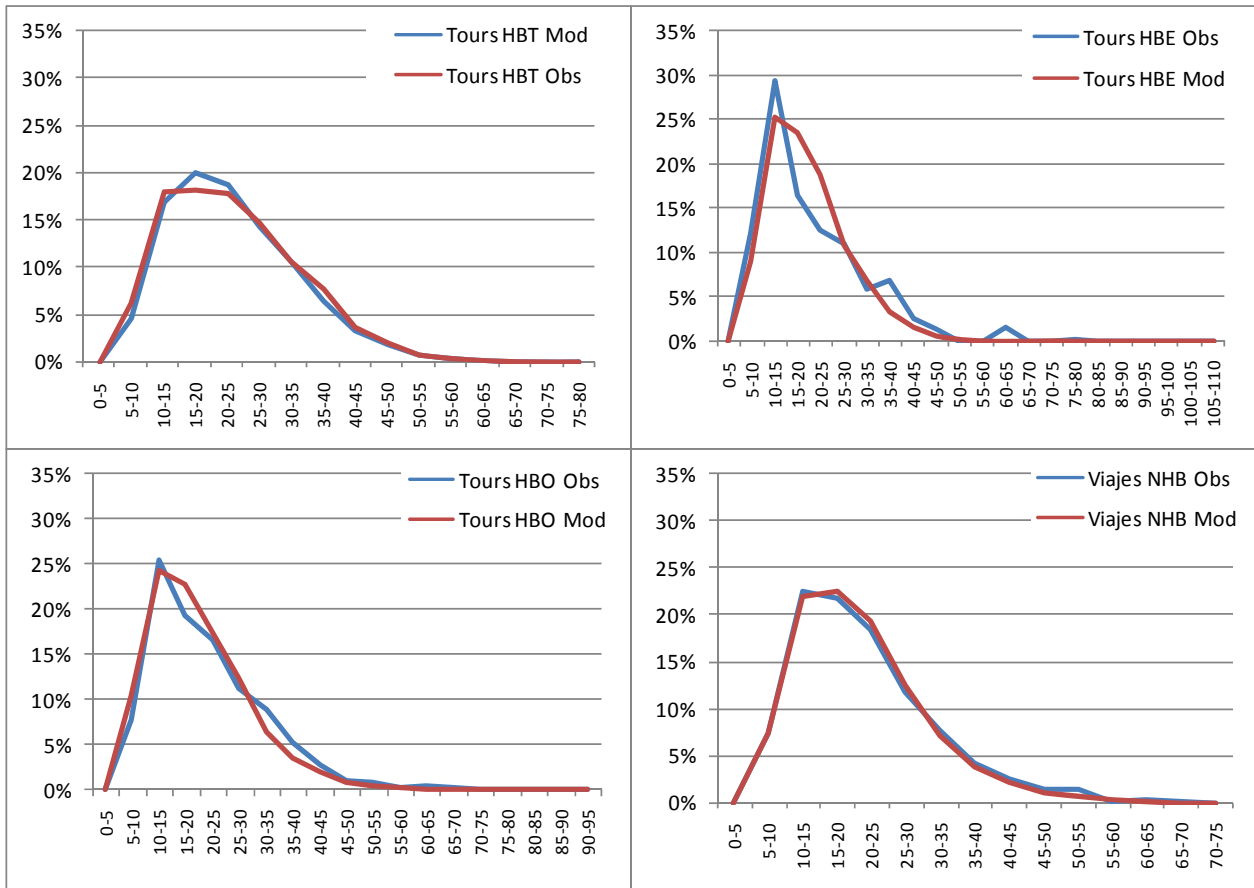
Segmento de demanda	$\alpha$	$\beta$	tiempo medio (min)
Tours Trabajo HB	1.2	-0.15	23.6
Tours Estudio HB	0	-0.13	20.8
Tours Otros HB	0.9	-0.19	21,4
Viajes no basados en el hogar	1	-0.12	21,7

Fuente: Elaboración propia

El resultado de cada uno de los modelos sobre el histograma de los viajes observados se presenta en las siguientes figuras.



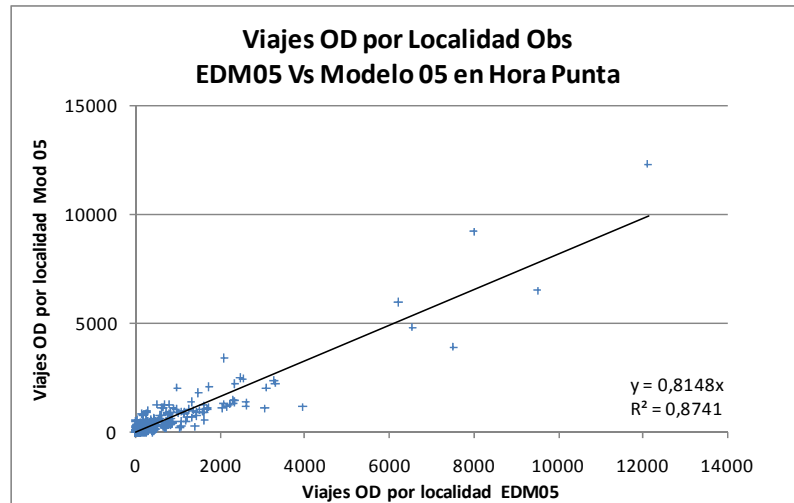
**Figura 3-47 Distribuciones de los desplazamientos según tiempo de viaje para los diferentes segmentos de demanda.**



Fuente: Elaboración propia

Para valorar en qué medida los viajes modelados tienen una pauta de movilidad similar a los viajes observados se ha realizado una comparación por Par OD a nivel de localidad entre los viajes modelados y los viajes observados. El resultado final es bastante revelador de que el modelo representa en buena parte la estructura de movilidad de la ciudad en vehículo privado.

Figura 3-48 Comparación entre los viajes OD por localidad obtenidos de la EDM05 y los obtenidos por el modelo en hora punta para el año 2005.



Fuente: Elaboración propia

Los modelos calibrados tanto de generación, atracción y distribución zonal son aplicados para calcular las nuevas matrices en el año base de 2008 a través de la proyección de las variables explicativas para ese año.

### 3.7 MATRIZ DE TRANSPORTE PÚBLICO AL 2008

Como ya se ha mencionado en los apartados anteriores, se ha utilizado la matriz de transporte público contenida en el modelo desarrollado por el estudio “Diseño Técnico, Legal y Financiero del Sistema Integrado de Transporte Público para la ciudad de Bogotá D.C. - SITP”.

Su actualización al 2008 se ha realizado a través del crecimiento poblacional detectado según los datos disponibles, de manera que se ha proyectado por zonas con la tasa de incremento interanual. Los crecimientos de la matriz se realizaron en dos grupos aplicando crecimientos de población 2007-2008 contenidos en las fuentes de datos disponibles:

**Tabla 3-34 Fuentes de información para la actualización de la matriz de Transporte Público**

Zonas	Fuente	Desagregación
<b>Zonas de transporte contenidas en Bogotá D.C. y 17 municipios aledaños</b>	<b>DANE08:</b> “Proyecciones de Población para Bogotá D.C., por Localidades, desagregadas por Sexo y edades simples de 0-24 Años y grupos quinquenales de Edad para el Periodo 2000-2015 y Viviendas y Hogares”	UPZ/Municipio
<b>Resto de Municipios</b>	<b>PMM 2006:</b> crecimientos presentados en el Plan Maestro de Movilidad 2006 provenientes proyecciones de población para los municipios del departamento de Cundinamarca, realizadas por la Mesa de Planificación Regional Bogotá- Cundinamarca hasta el año 2020.	Sector DANE

Fuente: *Elaboración propia*

- **Grupo 1** (zonas de transporte contenidas en Bogotá D.C. y 17 municipios aledaños): los crecimientos de población considerados son registrados en las “Proyecciones de Población para Bogotá D.C., por Localidades, desagregadas por Sexo y edades simples de 0-24 Años y grupos quinquenales de Edad para el Periodo 2000-2015 y Viviendas y Hogares” correspondiente a las proyecciones realizadas por el DANE en el marco de un convenio inter-administrativo con la Secretaría de Planeación Distrital ejecutado en el año 2008, en el cual se han revisado las proyecciones existentes para Bogotá D.C. y 17 de los municipios aledaños más importantes.
- **Grupo 2** (resto de los municipios): se han considerado las proyecciones de crecimientos presentados en el Plan Maestro de Movilidad 2006 provenientes de proyecciones de población para los municipios del departamento de Cundinamarca, realizadas por la Mesa de Planificación Regional Bogotá- Cundinamarca hasta el año 2020.

La siguiente tabla muestra las proyecciones de población existente para el año 2008, desagregadas por localidad para el caso de Bogotá, las cuales han servido de referencia para comprobar que los incrementos poblacionales por UPZ aplicados a la matriz de 824 zonas, corresponden al incremento total por localidad de acuerdo con las cifras del DANE.

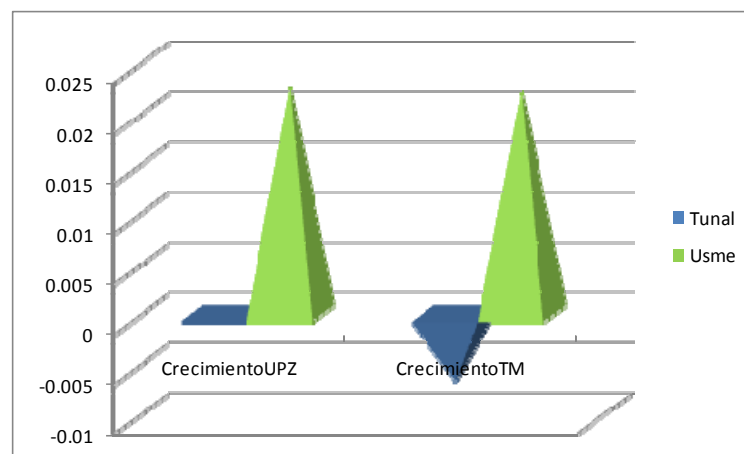
**Tabla 3-35 Proyecciones de Población DANE por localidad.**

Localidad	2005	2007	2008	% Incremento 2007-2008
Usaquén	444 924	454 703	459 669	1.09%
Chapinero	126 274	128 545	129 774	0.96%
Santa Fe	109 463	109 554	109 704	0.14%
San Cristóbal	409 653	410 066	410 214	0.04%
Usme	299 621	322 183	335 350	4.09%
Tunjuelito	202 342	202 198	202 168	-0.01%
Bosa	495 283	525 153	539 794	2.79%
Kennedy	944 777	972 837	985 570	1.31%
Fontibón	297 933	314 175	322 172	2.55%
Engativa	793 944	811 520	819 912	1.03%
Suba	918 580	968 279	993 377	2.59%
Barrios Unidos	224 216	228 434	230 026	0.70%
Teusaquillo	138 993	141 366	142 619	0.89%
Los Mártires	95 866	96 568	96 930	0.37%
Antonio Nariño	106 648	107 387	107 682	0.27%
Puente Aranda	257 090	257 583	257 962	0.15%
Candelaria	23 985	24 038	24 067	0.12%
Rafael Uribe Uribe	376 711	377 134	377 440	0.08%
Ciudad Bolívar	567 861	592 426	604 491	2.04%
Sumapaz	5 952	6 079	6 131	0.86%

Fuente: Proyecciones DANE- Junio 2008

Una vez calculados los crecimientos se ha realizado la verificación para las zonas de transporte identificadas por TransMilenio a través del aumento de totales de viajes en zonas en las cuales no se ha aumentado la oferta de transporte desde los años 2007 y 2008. Esta comprobación ha consistido en la comparación de la demanda por zonas con los datos de entradas y salidas de viajeros en las estaciones del sistema TransMilenio, para el año 2008. Los resultados más relevantes se ven en los portales Tunal y Usme.

**Figura 3-49 Comparación de crecimientos de UPZ y demanda TM**



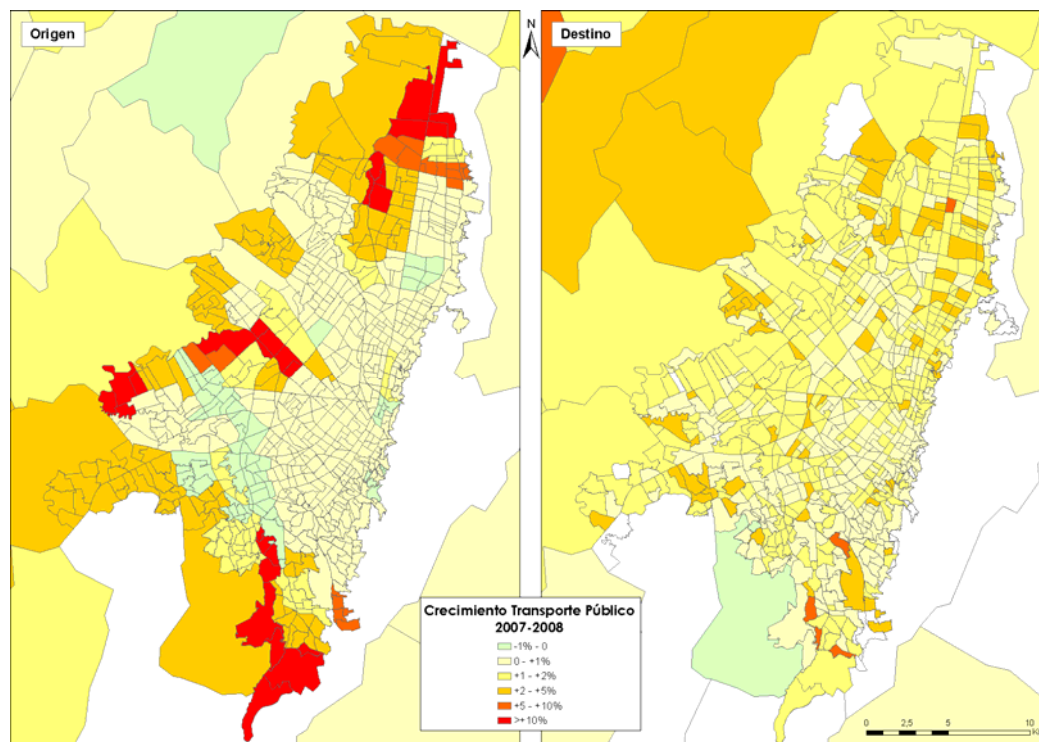
Fuente: Elaboración propia con datos de TransMilenio 2008.

En ambos casos el comportamiento de la demanda es equivalente al de la población de la UPZ en la cual se encuentra. Esta comprobación confirma que los datos de la matriz son coherentes con el comportamiento real de la demanda actual del transporte público.

La matriz de TP 2007 (mf69) que suma 658.730 viajes en hora punta fue incrementada según el vector de factores zonales recibido. Se consideró más adecuado aplicar los crecimientos en origen dado la mayor fiabilidad de los ratios de generación de viajes en función de la población. La matriz resultante de 2008 suma un total de 667.320 viajes (mf15).

Globalmente el incremento es marginal (1,3%). Sin embargo, los próximos dos gráficos muestran dónde se aplican los crecimientos y su variación relativa. Se puede apreciar cómo los mayores incrementos en origen se producen en las zonas norte y oeste, con algo de crecimiento también en la periferia sur. La demanda se prevé menor en la parte interior sur.

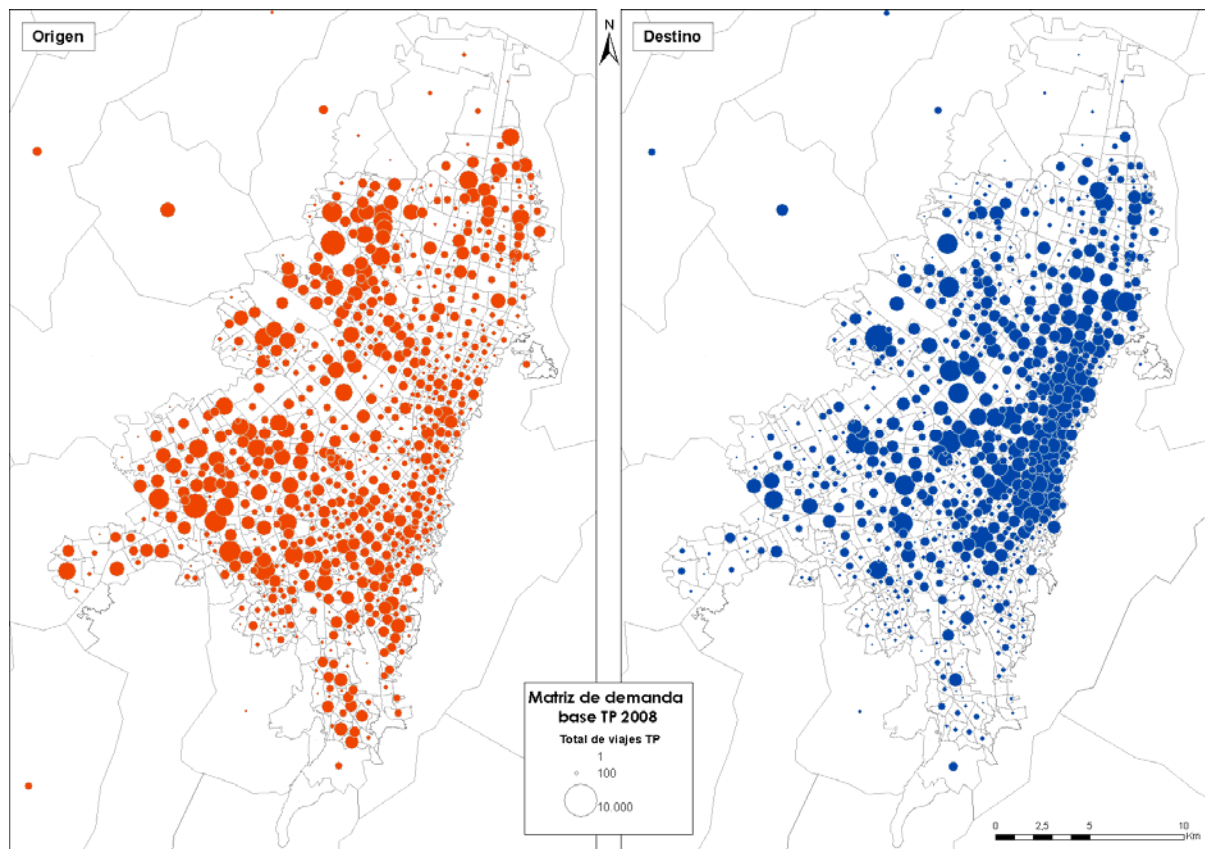
**Figura 3-50 Crecimiento Transporte Público 2007-2008**



Fuente: Elaboración propia

Para comprender el comportamiento de la demanda de forma global, hemos segmentado la matriz OD de 2008 (nueva matriz base) en los cuatro grupos socioeconómicos. El patrón observado del total de viajes en TP es el siguiente:

Figura 3-51 Patrón global de la matriz de demanda base de TP en 2008



Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior puede verse como la mayor parte de los viajes tienen una distribución homogénea en casi toda la zona urbana, con mayor peso en las zonas orientales. En el caso de los destinos de viajes, es notoria la atracción que genera el centro de la ciudad, aunque se identifican algunos polos en la zona occidente de la ciudad.

### 3.8 EL MODELO DE TRANSPORTE

El modelo de transporte se basa en el modelo SITP 2007, por lo cual ha resultado fundamental familiarizarse con la base de datos, los atributos, las matrices, la codificación base y los puntos de ajuste, así como el análisis de las macros definidas en el mismo. Se han analizado los resultados base 2007 a utilizar como punto de comparación con los resultados de 2008.

La calibración del modelo de transporte privado se ha basado en la actualización de la malla vial y en la mejora y validación de las funciones de demora. Se ha realizado el ajuste y calibrado de la matriz de transporte privado 2008 con aforos y velocidades observadas y verificado el crecimiento previsto para 2008, teniendo en cuenta las condiciones de movilidad observadas en la matriz modelizada en las condiciones de 2008, calibrada con datos EDM'05.

En cuanto al transporte público, se analizan y redefinen las funciones de demora. Se han comparado dichos resultados con los valores observados de demanda de TransMilenio y aforos en el resto de la red.

Para el calibrado de los modelos, y siguiendo, metodologías tradicionales (empleadas también en los estudios del SITP) se plantean dos herramientas de calibración:

- Las tablas comparativas
- Las gráficas de dispersión.

Las gráficas de dispersión son gráficas bidimensionales que muestran en abcisas los valores del modelo y en ordenadas los valores reales (o viceversa). Una calibración perfecta haría que los valores del modelo fueran similares a los de la realidad y todos los puntos estarían alineados en una recta de pendiente 1. La obtención de una regresión lineal sobre estos datos y el análisis del parámetro  $R^2$  ofrece información sobre la robustez de la calibración obtenida. Se ajustarán las variables para obtener coeficientes  $R^2$  cercanos a uno o menores según el caso de la variable analizada.

### 3.8.1 MODELO DE TRANSPORTE SITP ACTUALIZADO AL 2008

El modelo de transporte al 2008 resulta de la actualización de la red vial contenida en el escenario 7813 modelo del SITP. La estructura, nomenclatura y número de elementos se han mantenido iguales, excepto:

- Modificación de algunas características de los tramos
- Se añadieron dos tramos en el lateral de la NQS sentido Sur-Norte.
- Modificación de conectores

A continuación se citan los componentes más relevantes del modelo que han sido actualizados ó validados en el proceso de calibración.

- **Modos:** Sobre esta red se mantienen 17 modos de transporte con 32 tipos de vehículos del modelo calibrado al 2007. De la misma manera, se han mantenido los modos originales.
- **Nodos:** Los nodos definidos se mantienen en tipo y cantidad y con los mismos atributos que para el año 2007.
- **Red de transporte público:** Sobre la red de transporte público no se han realizado cambios, a excepción de la modificación de las funciones de cálculo de demora.
- **Arcos:** el total de arcos no conectores se mantiene igual a excepción de los citados del lateral de la NQS, adicionándose a los mismos nueva información correspondiente a aforos 2008 y datos usados para el cálculo, por ejemplo: @circa: identifica la circulación de camiones. Se han modificado las funciones de demora de vehículo privado y actualizado los siguientes parámetros:
  - Capacidad de por carril
  - Número de carriles
  - Velocidad de flujo libre
  - Tipo de vía

- **Giros en intersecciones:** Se han verificado y actualizado los giros y restricciones en intersecciones según contenidos en el modelo calibrado al 2007.
- **Codificación del valor del tiempo:** se han mantenido los valores calibrados incluidos en el modelo SITP 2007, para cada uno de los cuatro grupos socioeconómicos, debido a que son el resultado de análisis suficientemente recientes.
- **Tarifas:** se han usado las contenidas en la base de datos proporcionada por la Administración, las cuales representan la situación actual.

Con los cambios en las funciones de demora, y la actualización de los arcos de la malla vial, se ha obtenido la oferta de transporte actualizada al 2008.

### 3.8.2 AJUSTE Y CALIBRADO DEL MODELO DE PARA VEHÍCULO PRIVADO

El proceso de calibración del transporte privado se ha llevado a cabo en la siguiente secuencia:

- Actualización y validación de la malla vial
  - Revisión de carriles y capacidades
  - Jerarquización vial
  - Revisión de conectores
- Estimación de precarga de vehículos equivalentes
- Definición y calibración de funciones
- Automatización de proceso de calibración 2005-2008 VP
- Modelo de generación – atracción de VP
  - Reestimación de generación-atracción modelo ED2005
  - Iteraciones con modelo de generación-atracción para la distribución
  - Asignaciones iterativas y reestimación de modelo de distribución para conseguir convergencia
  - Aplicación de ajuste de VP con Demadj
  - Aplicación de ajuste de VP con Demadj y Revisión y corrección, en su caso, de la matriz obtenida en la aplicación del ajuste Demadj

A continuación se describen cada uno de los procesos mencionados.



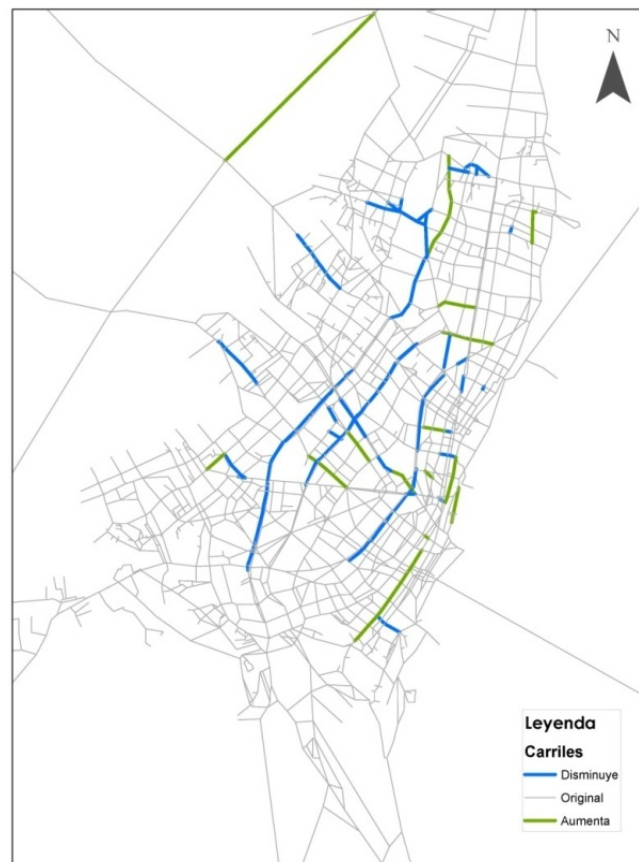
### 3.8.2.1 Actualización y validación de la malla vial

La actualización de la malla vial ha constituido un proceso interactivo entre la administración y el grupo consultor. Ha permitido obtener una red más adecuada al modelo de la ciudad, y de la misma manera, mejorar los resultados de calibración.

#### 3.8.2.1.1 Número de carriles

El número de carriles se ha ajustado a la realidad en los corredores marcados, siendo el criterio fundamental de la reducción para la continuidad real en la red, según su configuración.

Figura 3-52 N° de Carriles de TP en 2008



Fuente: Elaboración propia

#### 3.8.2.1.2 Tipo de vía

Los tipos de vía se mantienen en gran medida a los ya codificados no destacándose ningún cambio significativo. La codificación tiene la siguiente descripción para los 10 tipos de vías contemplados.

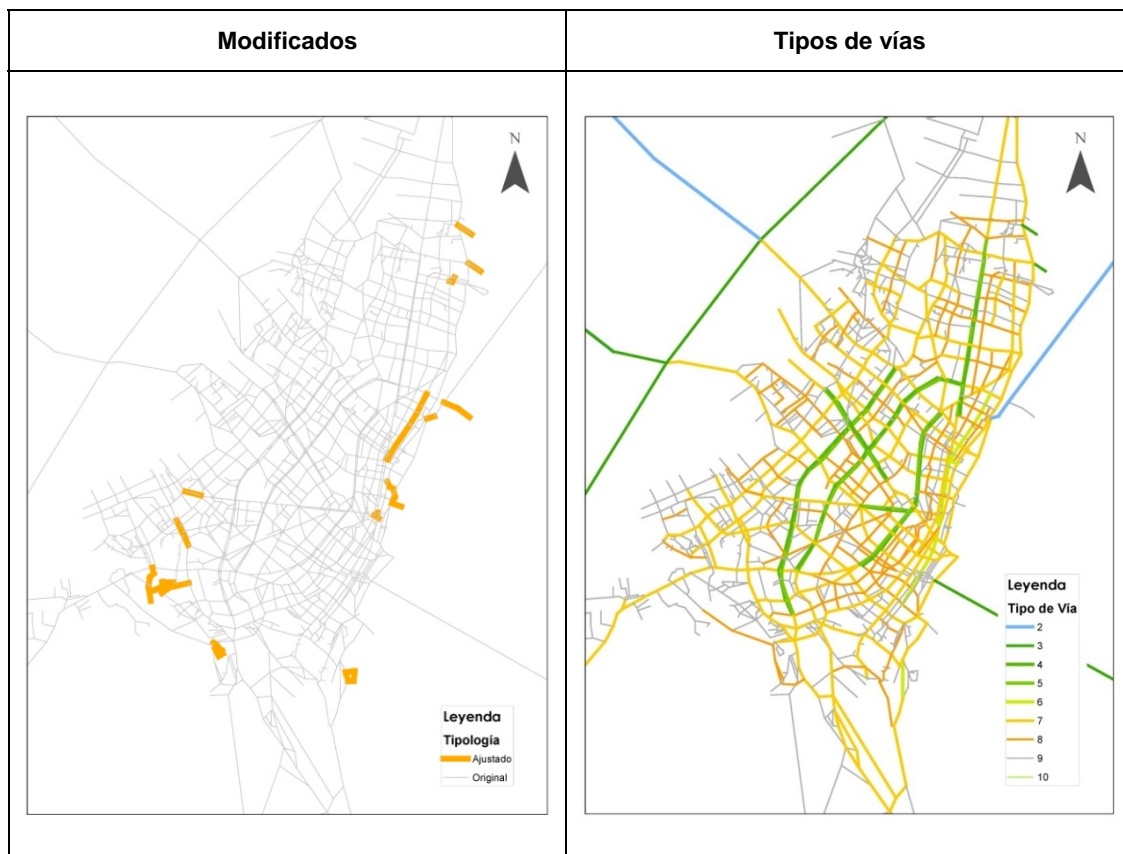
**Tabla 3-36 Tipos de vía.**

COD	Tipo de vía
2	Carretera de peaje interurbana
3	Carretera libre interurbana
4	Centrales de vías de ejes principales
5	Laterales principales
6	Vías primarias de un sentido de circulación
7	Vías primarias de dos sentidos de circulación
8	Vías secundarias
9	Vías locales
10	Intercambiador central-lateral ejes principales

Fuente: Elaboración propia

Respetando esta codificación y modificando en los arcos evidenciados en la siguiente imagen (izquierda) se ha obtenido la codificación final representada en la misma imagen (derecha).

**Figura 3-53 Modificaciones red vial**



Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior izquierda se presentan los tramos que han sufrido alguna modificación en cuanto a su codificación de tipo de vía y como puede observarse se han aplicado cambios a menos de 20 vías.

### 3.8.2.1.3 Capacidad de por carril

La capacidad por carril ha sido objeto de un análisis detallado, el cual ha consistido en uniformizar la capacidad según la jerarquización vial. Originalmente la capacidad por carril se había codificado con la finalidad de mejorar la calibración del modelo. Esta codificación generaba una variedad en capacidad que resultaba difícilmente controlable.

Para llevar a cabo la nueva codificación se han revisado las propuestas de capacidad contenidas en la Reformulación del plan vial del POT, en la cual se recogen las capacidades recomendadas por el HCM 2000<sup>12</sup>, el estudio de Ardila A<sup>13</sup> y el análisis de Cal y Mayor<sup>14</sup> para las vías: Av. De los Libertadores, El Dorado.

**Figura 3-54 Capacidades y flujo de saturación para varios tipos de vías**

Tipo de Vía	Capacidad (veh/hr/carril)		Fuente	Observaciones
	Vehículos:	PCU		
	(Vehículos equivalentes)			
Vía Multicarril		2200	HCM 2000	Flujo de Servicio para nivel de Servicio E, Velocidad flujo libre 96,5 Km/h
Vía Multicarril		2100	HCM 2000	Flujo de Servicio para nivel de Servicio E, Velocidad flujo libre 88,5 Km/h
Vía Multicarril		2000	HCM 2000	Flujo de Servicio para nivel de Servicio E, Velocidad flujo libre 80,5 Km/h
Vía Multicarril		1900	HCM 2000	Flujo de Servicio para nivel de Servicio E, Velocidad flujo libre 72,5 Km/h
Vías Multicarril	1450 (percentil 15) - 1500 (percentil 85) Promedio: 1500		Ardila A. Estimación Empírica de la Capacidad Vial par Vías Urbanas de Tipo Arterial, Local, Multicarril	Por hora de verde, a partir de conteos por el método ALE
Vías Multicarril	2480 Avenida P. de los Libertadores 1524 Carrera 30 1482 Avenida El Dorado (El Tiempo) 1104 Avenida El Dorado		Cal y Mayor y Asociados, Manual para Estudios de Tránsito y Transporte. Secretaría de Tránsito y Transporte 1998	A partir de ajuste de datos de velocidad y volumen tomados en campo. Velocidad de flujo libre considerada: 86 Km/hr
Vía Arteria Bidireccional	830 (percentil 15) - 1090 (percentil 85) Promedio: 950		Ardila A. Estimación Empírica de la Capacidad Vial par Vías Urbanas de Tipo Arterial, Local, Multicarril	Por hora de verde, a partir de conteos por el método ALE
Vía Arteria Unidireccional	870 (percentil 15) - 1110 (percentil 85) Promedio: 1000		Ardila A. Estimación Empírica de la Capacidad Vial par Vías Urbanas de Tipo Arterial, Local, Multicarril	Por hora de verde, a partir de conteos por el método ALE
Vía Local Bidireccional	850 (percentil 15) - 960 (percentil 85) Promedio: 900		Ardila A. Estimación Empírica de la Capacidad Vial par Vías Urbanas de Tipo Arterial, Local, Multicarril	Por hora de verde, a partir de conteos por el método ALE
Vía Local Unidireccional	850 (percentil 15) - 940 (percentil 85) Promedio: 900		Ardila A. Estimación Empírica de la Capacidad Vial par Vías Urbanas de Tipo Arterial, Local, Multicarril	Por hora de verde, a partir de conteos por el método ALE
Puentes	1100 (percentil 15) - 1380 (percentil 85) Promedio: 1250		Ardila A. Estimación Empírica de la Capacidad Vial par Vías Urbanas de Tipo Arterial, Local, Multicarril	Por hora de verde, a partir de conteos por el método ALE
Vías secundarias o locales con señal de Pare Saturación en intersecciones semaforizadas	580 - (percentil 15) - 740 (percentil 85) Promedio: 650		Ardila A. Estimación Empírica de la Capacidad Vial par Vías Urbanas de Tipo Arterial, Local, Multicarril	Por hora de verde, a partir de conteos por el método ALE
Saturación en intersecciones semaforizadas	1500 - 2000 Recomendado 1900		HCM 1994	
Saturación en intersecciones semaforizadas	1900		Cal y Mayor y Asociados, Manual para Estudios de Tránsito y Transporte. Secretaría de Tránsito y Transporte 1998	A partir de observaciones en campo.

Fuente: Plan de Reformulación vial 2005

<sup>12</sup> Highway Capacity Manual 2000.

<sup>13</sup> Estimación Empírica de la Capacidad Vial par Vías Urbanas de Tipo Arterial, Local, Multicarril. Ardilla A.

<sup>14</sup> Manual para Estudios de Tránsito y Transporte. Secretaría de Tránsito y Transporte 1998. Cal y Mayor.

Básicamente se ha observado tres aspectos mejorables del modelo de red inicial evaluado. Por un lado existía una enorme heterogeneidad en los valores de la capacidad unitaria para todos los tipos de vías, pero especialmente para aquellas de tipo 7 y 8 asociadas al entramado urbano. Si bien es cierto que la capacidad de cada tramo de calle varía en la realidad por motivos de su configuración (número de carriles, anchura, estacionamiento en los laterales, pendientes, tramos sin intersecciones, fase verde de semáforo, etc.) es habitual tender a una cierta normalización de los mismos en función de una serie de parámetros principales.

La primera actividad ha sido homogeneizar dentro de lo posible y manteniendo la pluralidad del esquema las capacidades por tipo de vía.

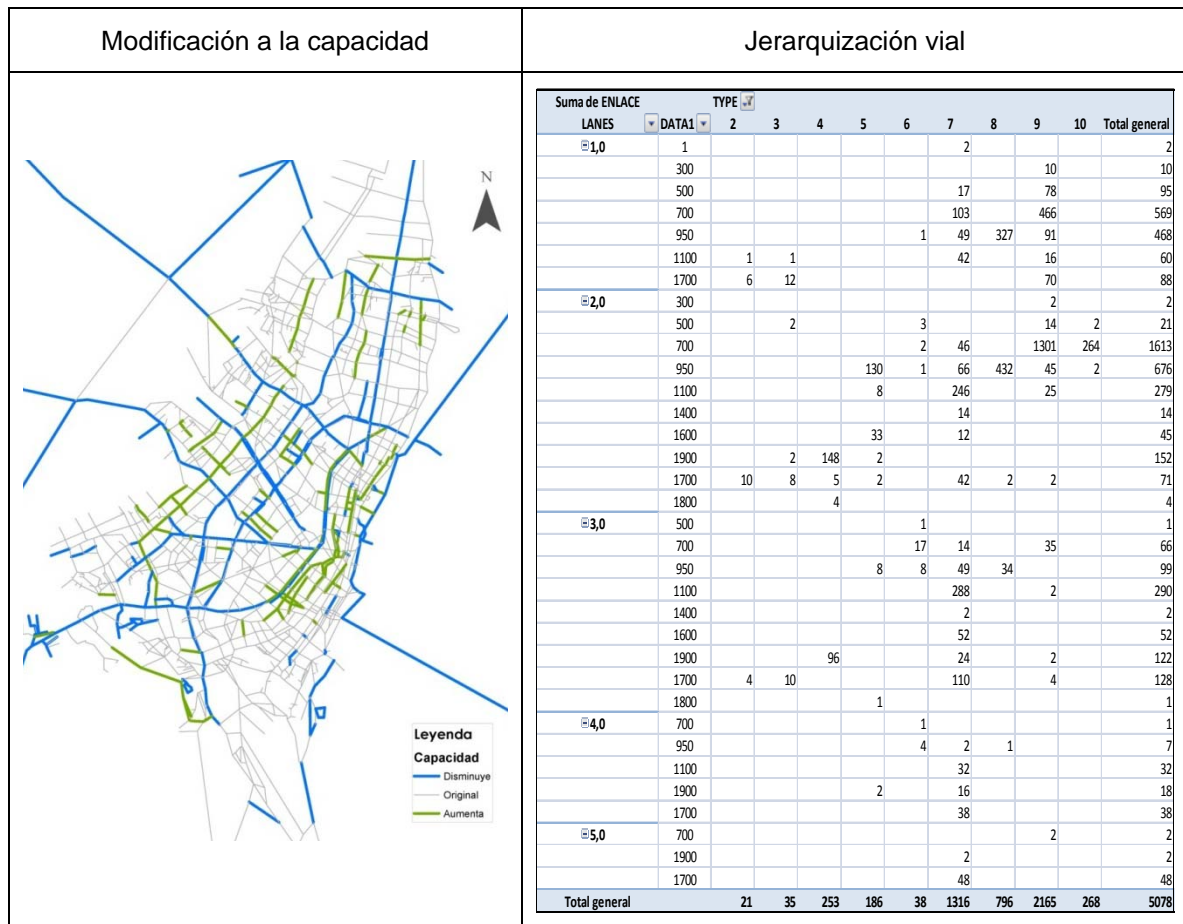
En segundo lugar se analizaron cambios bruscos en estos valores que aparecían principalmente en los tramos externos de vías de 3 carriles. Se observaron saltos de capacidad de 1.500 veh/hora/carril a 1.000 e incluso menos, cuando la observación de la realidad en la zona no hacía pensar en esos cambios tan bruscos. De manera que se chequeó la red para poder conservar los cambios justificados (intersecciones, reducciones de anchura o número de carriles, semáforos, etc.) y el resto se laminó en su mayoría.

Por último se observó un cierto sobredimensionamiento de las capacidades, con valores en bastantes casos superiores a los 2.000 veh/hora y carril, que a juicio del Grupo Consultor no son alcanzables en ámbitos urbanos como es el caso. Se consideró que valores por encima de los 1.900 no estaban justificados; y que éstos solo se podrían dar en las grandes avenidas sin semáforos y con vías auxiliares para los movimientos laterales.

Analizando los cambios ocurridos en la malla vial desde la realización de los estudios antes mencionados, y según los conocimientos técnicos, el GC recomienda unas capacidades como las que se muestran en los gráficos y tabla adjunta que en general y ligeramente se sobrevaloran las capacidades de los grandes ejes arteriales e infravalora un de algunas avenidas urbanas.

De esta forma, la jerarquización finalmente propuesta se presenta en la tabla siguiente. De igual manera pueden identificarse los tramos con modificación en la capacidad original.

Figura 3-55 Capacidad red vial y Jerarquización



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se identifica que los mayores cambios se ven en las vías más importantes, con una disminución de la capacidad originalmente codificada.

### 3.8.2.1.4 Velocidad de flujo libre

Con el fin de verificar la configuración de las vías, se ha comprobado la codificación de la velocidad de flujo libre. Esta característica de las vías representa la velocidad sin congestión y es usada como variable independiente en algunas funciones de demora.

### 3.8.2.1.5 Revisión de conectores

Para lograr una mejor representación de las cargas en vías secundarias se detectó que algunos conectores trasladaban los tráficos con origen o destino en las diferentes zonas a la red principal, no recogiendo suficientemente bien las cargas en vías secundarias. Para lograr una mejor representación se procedió a modificar o eliminar algunos conectores que pudieran estar induciendo a este efecto.

### 3.8.2.2 Precarga de vehículos equivalentes

Con la finalidad de incluir el efecto de los vehículos de transporte público y de mercancías, que usan las vías, el modelo de transporte cuenta con un total de vehículos equivalentes, los cuales son el resultado de convertir el total de camiones y autobuses en vehículos ligeros.

En cuanto al volumen equivalente de transporte público, corresponde a los vehículos que cumplen con las frecuencias de servicios de autobuses observadas en campo para el 2007 y que no sufren cambios entre 2007 y 2008.

Se debe remarcar que en muchos casos los volúmenes equivalentes (@voleq) previamente codificados no son lógicos debido al valor definido para @camín (número de camiones en los tramos). En un número de casos, el voleq provoca la superación de la capacidad de la vía.

La determinación de un adecuado volumen de camiones permite una mejor calibración del modelo de transporte, por lo cual Los camiones equivalentes han sido calculados como el resultado de la asignación de una matriz sintética sobre una red simplificada. La red simplificada es el resultado de interpretar las restricciones del Decreto 112 del 1994 en vigencia para el año base 2008.

#### 3.8.2.2.1 Metodología para definición de Precarga de camiones

En correspondencia al decreto 112 del 1994 sobre restricciones de horarios y uso de vías por camiones y su reciente modificación, he han clasificado las vías en la ciudad de Bogotá incluidas en el área de restricción.

Figura 3-56. Área de restricción de circulación. Decreto 112 de 1994



Fuente: Modificación decreto distrital 112 de 1994 Regulación de Tráfico de Vehículos de Carga, Industriales y de Construcción. Secretaría Distrital de Movilidad.

Una vez definida esta característica de la red, se han analizado los aforos de camiones del 2008, los cuales indican algunos incumplimientos de la normativa. Se han codificado las vías en las cuales se presentan estas irregularidades, de manera de poder darles un tratamiento adecuado.

Basándose en la información disponible sobre tráfico de camiones se ha realizado una selección de las zonas de transporte en las cuales existe tránsito y se han agrupado en macro zonas según su potencial generador y atractor de actividades logísticas.

Este análisis permite obtener una matriz OD de camiones genéricos, que cuenta con una red de vías que se asemeja, según la información recogida en los aforos, a las usadas actualmente por los transportistas en la hora punta.

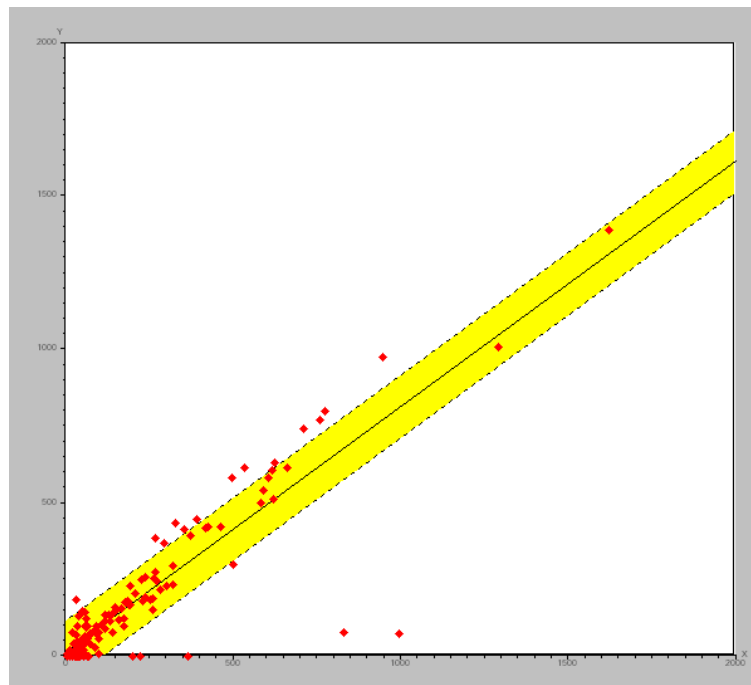
Con esta matriz OD el GC realiza un ajuste de matriz a los aforos obtenidos del 2008, basándose en el programa EMME. Se consigue de esta manera, el flujo de camiones en los arcos del modelo en forma de vehículos equivalentes, que luego son transformados nuevamente para completar la precarga de vehículos en las vías.

Un análisis más detallado de este procedimiento se ilustra en el anexo G del presente documento.

### 3.8.2.2.2 Resultados del cálculo de precarga de camiones

La regresión entre los aforos observados (2008) en equivalentes y la asignación de la matriz semilla tras la aplicación de la macro demad<sub>j</sub> ha generado una regresión de 79,9%.

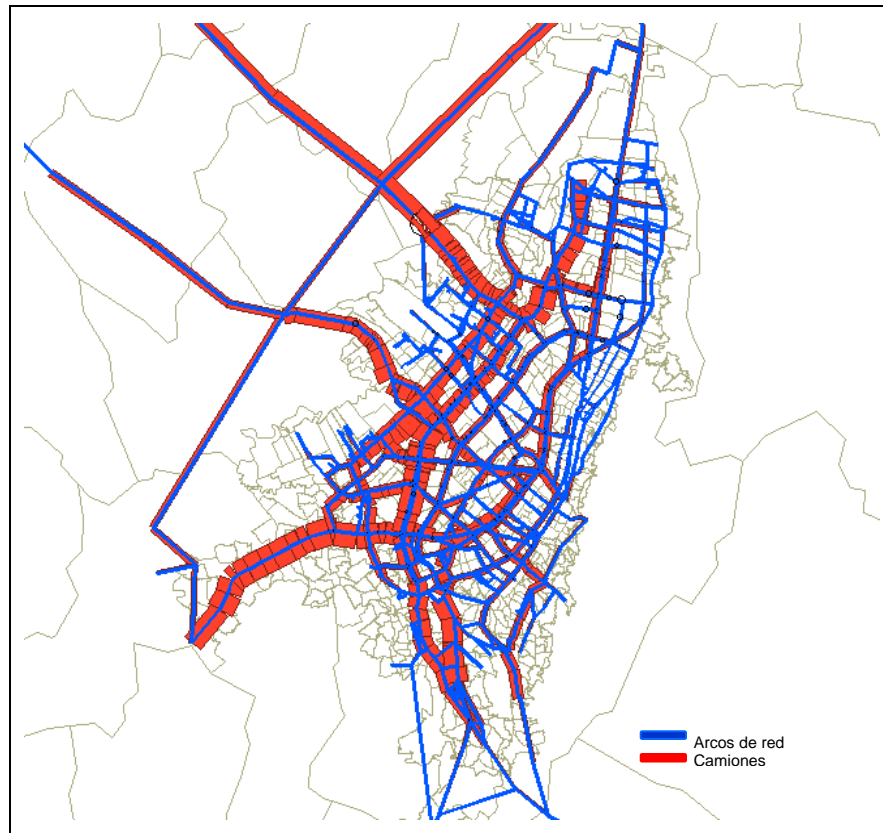
**Figura 3-57. Regresión de aforos de camiones**



*Fuente: Elaboración propia*

El resultado final de la asignación puede verse en el siguiente gráfico.

**Figura 3-58. Resultado de asignación de vehículos equivalentes a camiones**



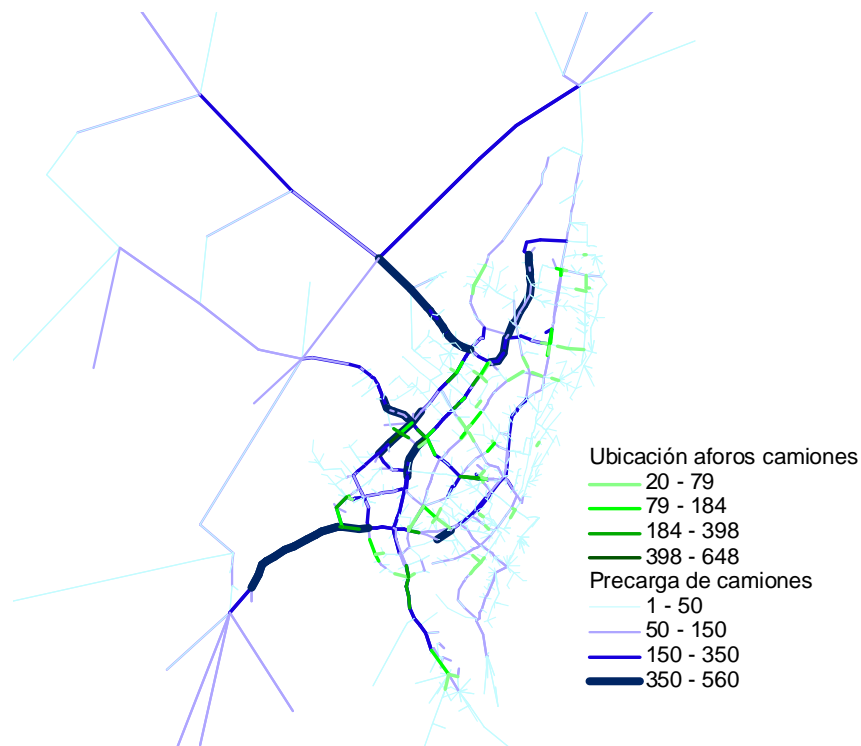
*Fuente: Elaboración propia*

Estudios recientes indican que la vía de mayor demanda de vehículos de carga es la Avenida Centenario (Calle 13) seguida de la Autopista Norte. El número de camiones puede representar entre un 25 y un 30% de la capacidad de algunas vías como son la Av. Boyacá y Cali.

Posteriormente, dicha precarga fue corregida en tramos que no son representados por aforos observados, pero en los cuales se han identificado valores irregulares. El resultado final se muestra en la figura siguiente:



**Figura 3-59. Asignación y Precarga de Camiones**



Fuente: *Elaboración propia*

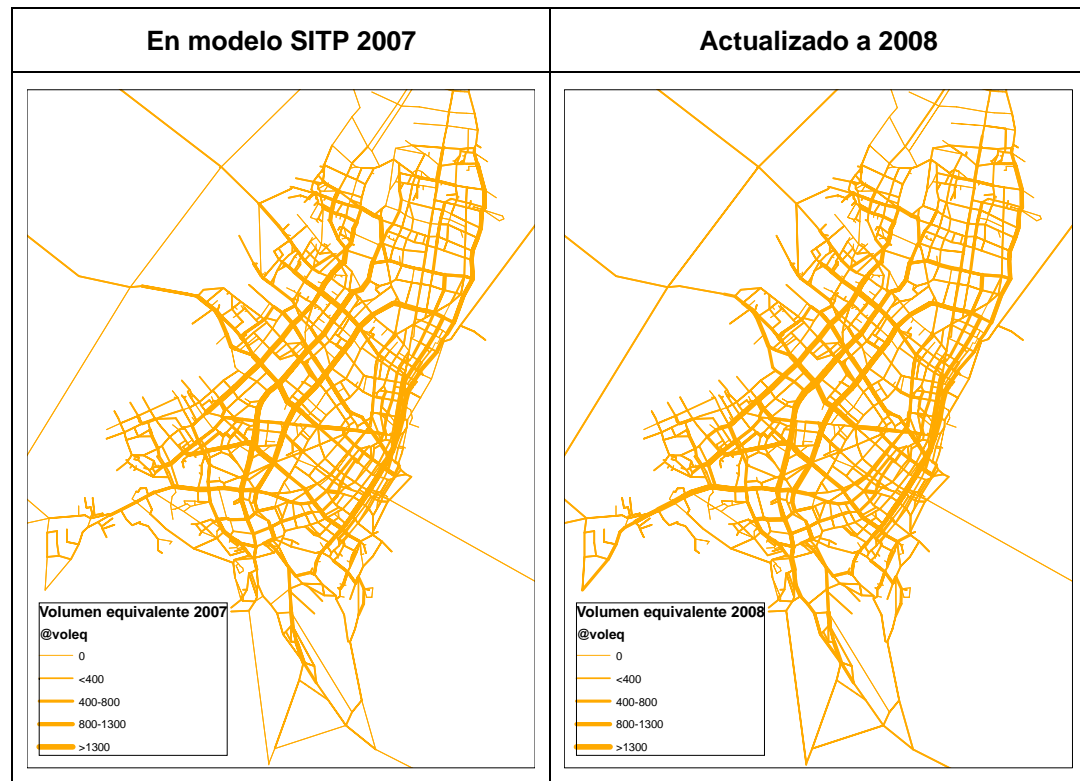
Para concluir con el procedimiento, se han traspasado los resultados de los cálculos al atributo @caminy, posteriormente, al atributo @voleq mediante la transformación de 2,5.

Se ha verificado adicionalmente que los volúmenes de camiones resultantes en la zona del aeropuerto El Dorado son coherentes a los valores de aforos. Esta zona representa uno de los polos logísticos más importantes de la ciudad, sin embargo los valores de camiones obtenidos no son relevantes. Esto se debe a que los análisis se realizan en hora punta de la mañana, la cual puede no ser atractiva para la circulación de vehículos pesados con origen o destino el Aeropuerto, en cuanto presenta mayor congestión que otras horas del día.

### 3.8.2.2.3 Resultados de precarga de vehículos equivalentes

Una vez determinado el total de camiones, se procedió a sumarlo con la precarga equivalente de autobuses codificada en el modelo calibrado al 2007, de esta manera, se ha obtenido la precarga total de vehículos equivalentes.

**Figura 3-60 Distribución de la precarga de vehículos equivalentes**



Fuente: Elaboración propia

Las gráficas anteriores presentan las diferencias entre las precargas equivalentes de cada escenario.

### 3.8.2.3 Definición y Validación de las funciones en el modelo SITP 2007

El primer paso consistió en validar si las funciones  $V_{df}$  son adecuadas, es decir si éstas responden correctamente a las condiciones de la red. Existen dos funciones que se utilizan como se muestra en la siguiente tabla, en donde se incluyen la cantidad de arcos a los cuales se aplican las funciones, y la cantidad de aforos con los que se cuenta para realizar el proceso de calibración.

**Tabla 3-37 Distribución de las funciones de velocidad, tipos de arco y mediciones**

Vdf	Tipo de arco	Descripción	Total de arcos	Puntos de aforo 2008	Puntos de velocidad @velca	Puntos de Aforo y Velocidad
5	2	Carretera de peaje	20	0	0	0
	3	Carretera libre	104	0	0	0
	4	Laterales Ejes principales	253	24	188	15
	5	Centrales Ejes principales	186	24	144	16
6	6	Vías primarias un sentido	26	1	10	1
	7	Vías primarias doble sentido	1.303	89	254	24
	8	Vías secundarias	806	21	44	1
	9	Vías locales	2.108	20	1	0
	10	Intercambiador c-l Ejes principales	268	3	0	0
<b>Total</b>			<b>5074</b>	<b>182</b>	<b>641</b>	<b>57</b>

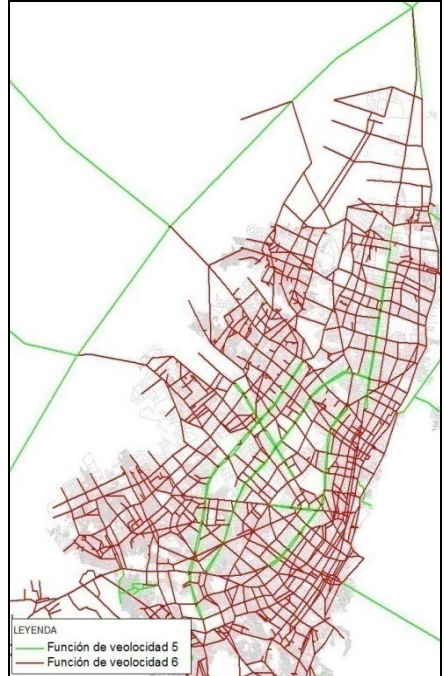
Fuente: Elaboración propia

Las dos funciones 5 y 6 se adaptan a todos los tipos de vías limitando su velocidad en flujo libre. Se han hecho pruebas con una gama de atributos (carriles, capacidad, velocidad libre y volumen de tráfico) para determinar la sensibilidad de las funciones. Sin embargo, con la nueva jerarquía de red propuesta se observó que las funciones no parecen responder adecuadamente cuando dichos arcos son cargados con tráficos, por lo que requiere de una nueva codificación.

El gráfico y tabla siguiente muestra como se distribuyen las funciones originalmente.

**Tabla 3-38 Distribución original de funciones**

Vdf	Tipo	Valores	Carriles	Capacidad por carril	Velocidad en libre
5	2-5	Mínimos	2	950	42
		Máximos	3	2.000	104
6	6-7	Mínimos	2	700	35
		Máximos	5	2.000	72
	8-9	Mínimos	2	700	32
		Máximos	4	950	59



LEYENDA

- Función de velocidad 5
- Función de velocidad 6

Fuente: Elaboración propia

En EMME, el comportamiento de las curvas no se refleja en la velocidad propiamente sino en el *retraso* que estas curvas generan a cada vehículo, según la carga, en un tramo en particular. El retraso se mide en minutos por km recorrido y se genera con las funciones definidas como se muestra a continuación.

Figura 3-61 .Ilustración de las funciones de demora aplicadas en el modelo calibrado 2007

$$F_{d5} = \left( \frac{\text{longitud}}{@velau \cdot @casen} \right) \cdot \sqrt{\left( 2 + \left( 10 \cdot \frac{(1 - (@velau \cdot @voleq))}{@casen} \right)^2 + 1.170^2 \right)} + @casen \cdot \left( 1 - \frac{(@velau \cdot @voleq)}{@casen} - 1.170 \right)$$

$$F_{d6} = \left( \frac{\text{longitud}}{@velau \cdot @casen} \right) \cdot \sqrt{\left( 2 + \left( 20 \cdot \frac{(1 - (@velau \cdot @voleq))}{@casen} \right)^2 + 1.120^2 \right)} + @casen \cdot \left( 1 - \frac{(@velau \cdot @voleq)}{@casen} - 1.120 \right)$$

Donde:

@velau: Velocidad de flujo libre

@voleq: Volumen equivalente

@casen: Capacidad por sentido

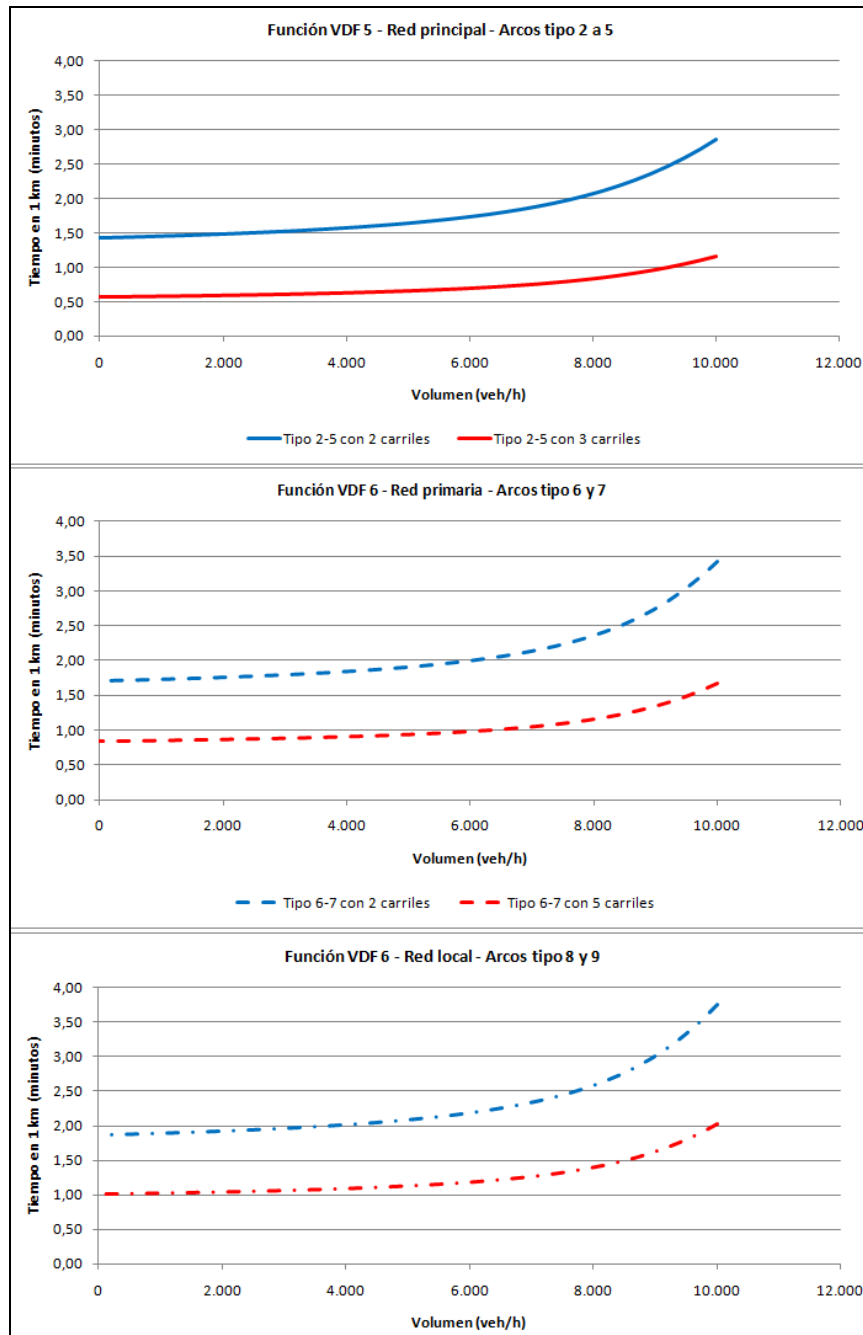
Volau: Volumen de vehículos privados

longitud: Longitud del arco

Fuente: Elaboración propia con información contenida en el modelo de transporte 2007.

Como se puede ver a continuación, la curva 5 es la más rápida y se aplica a la red principal que incluye las carreteras interurbanas. La función 6 por otro lado, se adaptó tanto a la tipología primaria como a la local.

Figura 3-62 .Generación de tiempos de retraso de las funciones sobre los distintos tipos de arcos en el modelo SITP original



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2.4 Proceso de ajuste de las funciones de Volumen-Demora

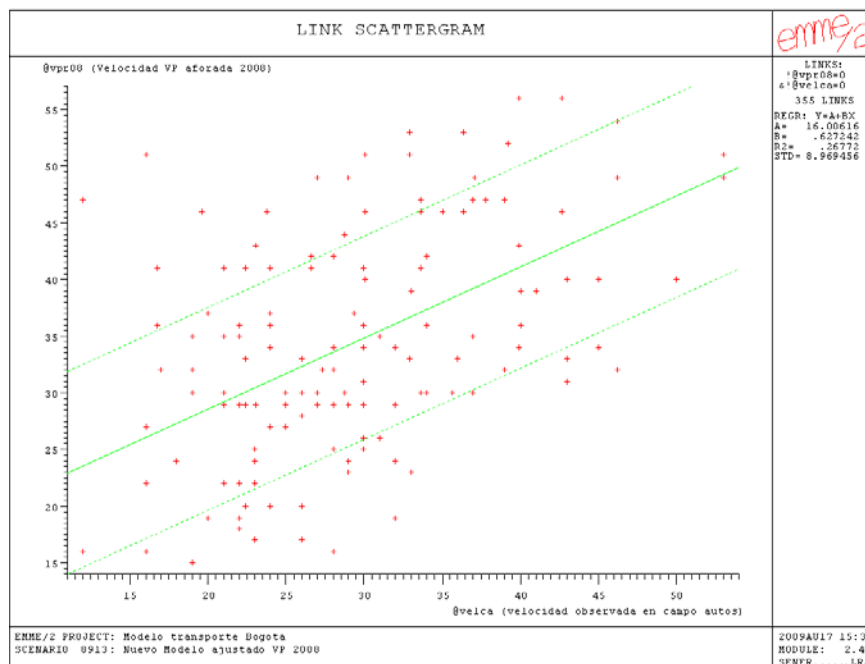
El proceso de ajuste ha consistido en la generación de nuevas funciones y en la validación de las originales según cada caso. Esto se ha realizado con operaciones iterativas entre las mejoras a las funciones de velocidad y la creación de la matriz de demanda. Una vez validadas las funciones, se generan dos requerimientos de ajuste, aforos y velocidades, que necesitan un proceso conjunto. Se busca que los aforos ajusten particularmente bien mientras y un estándar menos alto puede ser aceptable para las velocidades.

El ajuste cuenta con los valores actualizados de precarga de camiones y autobuses en vehículos equivalentes, lo cual ha facilitado la obtención de resultados favorables. Así mismo se ha calibrado el modelo con datos observados para el 2007 y posteriormente para los aforos de 2008. Esto se debe a la información disponible observada para cada uno de los dos años, y que se describe a continuación.

#### 3.8.2.4.1 Velocidades observadas

Se han incluido los valores de las nuevas velocidades observadas para el 2008 cuyo cálculo se incluye en el anexo F del presente documento. Las velocidades calculadas para el 2008 presentan una importante diferencia con las observadas al 2007, lo cual ha requerido un análisis detallado. Se han comparado los valores e identificado su ubicación geográfica que ha permitido concluir que debido a un cambio en la metodología de medición o a eventos imprevistos, los valores de velocidad observados del 2008 resultaron menos confiables que los obtenidos para el 2007.

Figura 3-63 .Relación entre velocidades observadas al 2007 y 2008

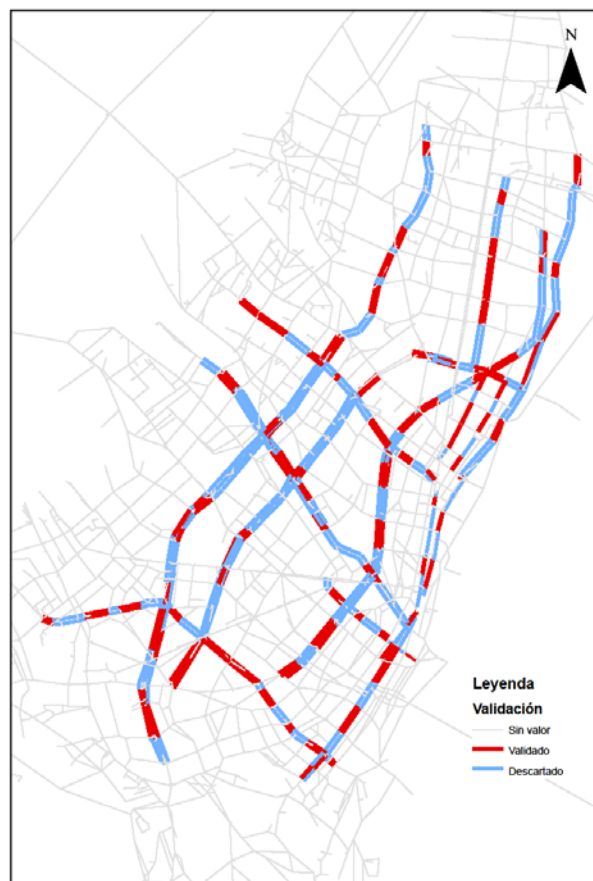


Debido a que no se conocen razones para estas diferencias, en mutuo acuerdo con la administración se procedió a dar uso de los datos observados para el 2007, almacenados en @velca, como factor de ajuste. Para asegurar la coherencia entre los datos, se ha tomado los valores de velocidad del 2007 para transporte público.

Adicionalmente se ha realizado un proceso de selección de los valores de velocidad representativos. Esto se debe a que la metodología de medición aplicada para los datos del 2007 se ha basado en la diferencia de tiempo entre estaciones de medición ubicadas a distancias fijas lo cual permite conocer la velocidad media del tramo. En los casos en los cuales entre las dos estaciones se ubican tramos con intensidades de tráfico diferentes, pero a todos se les ha asignado el mismo valor promedio, la calibración no resultaría confiable.

Es por ello que el GC ha verificado la ubicación de los tramos con velocidad observada, los puntos de aforo para el año 2008 y seleccionado los pares que resultan útiles para la calibración. En la siguiente figura se muestran los tramos en los cuales se contaba con velocidades observadas al 2007 y se evidencian cuáles de ellos han sido validados para el proceso de calibración.

**Figura 3-64 Validación de velocidades medidas**



*Fuente: Elaboración propia*

Este proceso ha resultado un total de velocidades validadas se encuentra en la base de datos bajo el atributo @velc2.

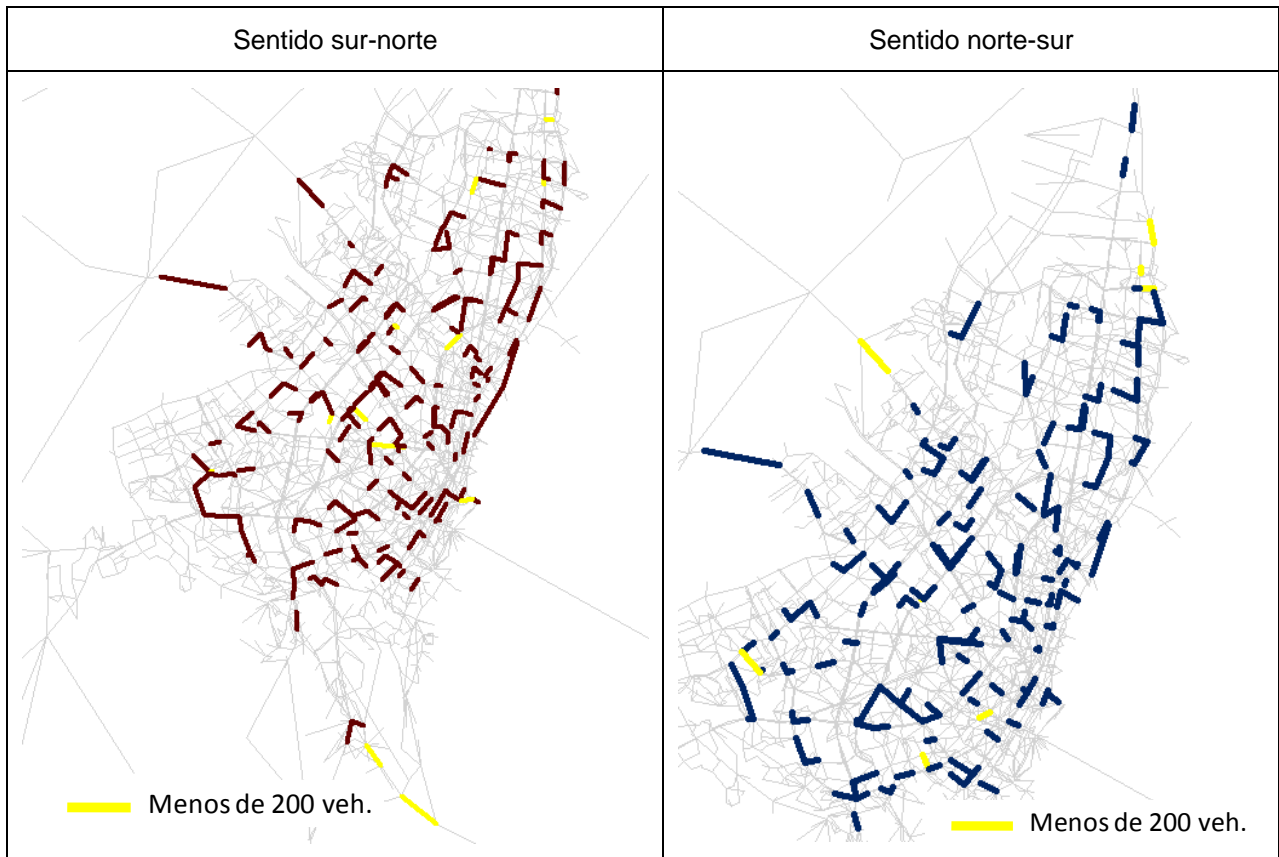
#### 3.8.2.4.2 Aforos de vehículos

Para el proceso de calibración se ha contado con datos actualizados al 2008 de aforos de vehículos que se describen en el anexo F al presente documento. Los totales de vehículos aforados, se han incluido en la base de datos bajo el atributo @afo08 para vehículos privados.

Con el fin de contar con una cobertura mayor de aforos, se ha procedido a crear un nuevo conjunto de aforos compuesto por los del año 2007 y del año 2008, contenidos bajo el atributo @af082. Para obtener este grupo de aforos de forma adecuada, se ha realizado el análisis por sentido de circulación y ubicación de cada aforo, eliminando aquellos puntos con menos de 200 vehículos y aquellos continuos en un sentido con el fin de evitar valores poco significativos en el primer caso y para evitar ponderar el acierto o error de estimación en un determinado tramo más de lo necesario.

A continuación se ilustra el proceso de selección de los aforos, a través de los mapas temáticos.

**Figura 3-65 Selección de aforos menores de 200 veh**

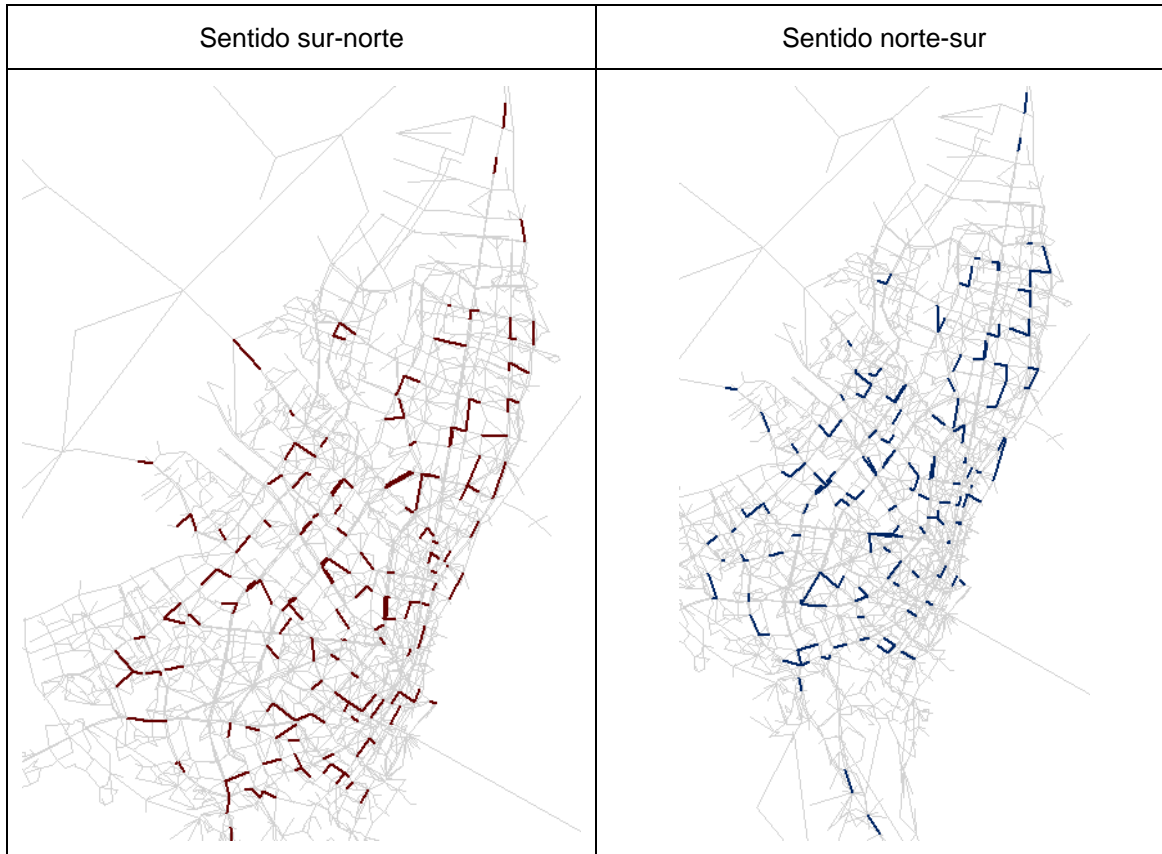


Fuente: Elaboración propia

Con este proceso se han descartado 10 valores en sentido sur-norte y 7 valores en sentido norte-sur.



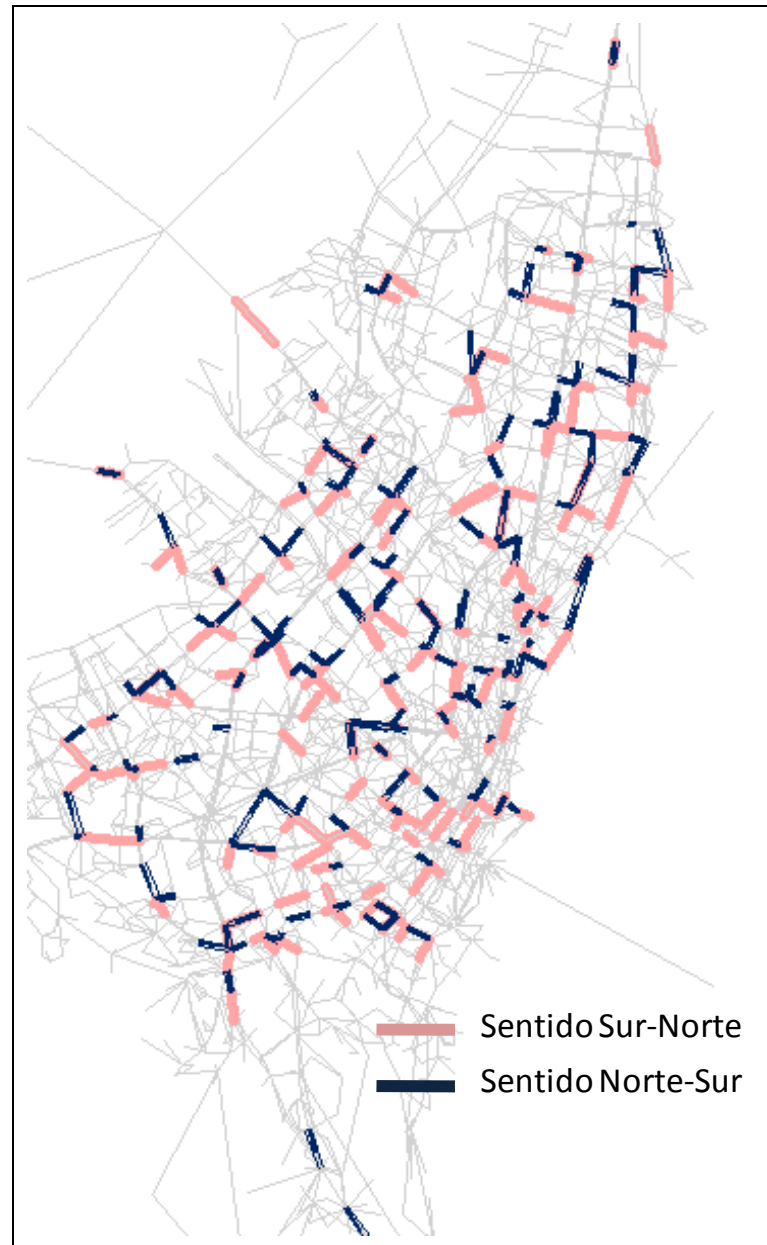
**Figura 3-66 Identificación de aforos continuos**



*Fuente: Elaboración propia*

Con el análisis de los aforos continuos y su selección el resultado de cobertura final se presenta a continuación.

Figura 3-67 Identificación de aforos continuos



Fuente: Elaboración propia

Con esta cobertura de aforos se ha realizado la calibración final del modelo para vehículo privado al 2008.

#### 3.8.2.4.3 Definición de nuevas funciones de demora

El GC ha procedido a modificar las funciones de demora originales, manteniendo la jerarquización de las vías, pero sustituyendo las funciones por nuevas de tipo cónicas. En los casos en los cuales no se contaba con velocidades observadas se procedió a asignar las funciones contenidas en el modelo de

transporte del Plan de Reformulación Vial del POT. Estos casos son específicamente las funciones las funciones de vías de tipo 2 y 3.

**Figura 3-68 .Ilustración de nueva función aplicada en modelo calibrado 2008**

$$\text{Tiempo demora} = \text{longitud} * \text{Parámetro inicial} * \frac{2 + \sqrt{\alpha^2 * \left(1 - \frac{\text{Volau} + @\text{voleq}}{@\text{casen}}\right)^2 + \beta^2}}{2\alpha} - \alpha * \left(1 - \frac{\text{Volau} + @\text{voleq}}{@\text{casen}}\right) - \beta$$

Donde:

@voleq: Volumen equivalente

@casen: Capacidad por sentido

Volau: Volumen de vehículos privados

longitud: Longitud del arco

Fuente: Elaboración propia con información contenida en el modelo de transporte 2007.

En el proceso de calibración el GC se ha encontrado con la necesidad de analizar de forma particular algunas vías que pese a sus características y a la tipología de vía, no respondían de forma adecuada a la función de demora correspondiente, como es el caso de la Autopista Norte, para la cual se ha generado la función VFL representada es de 90 km/h. Casos similares se han presentado en algunos tramos de las Av. Boyacá, Cali y Av. El Dorado entre Boyacá y NQS.

Debido a estos análisis, la definición final de funciones corresponde a 11 funciones, aplicadas a distintos tipos de vías. Estas funciones difieren en los parámetros que las conforman, como se muestra en la siguiente tabla.

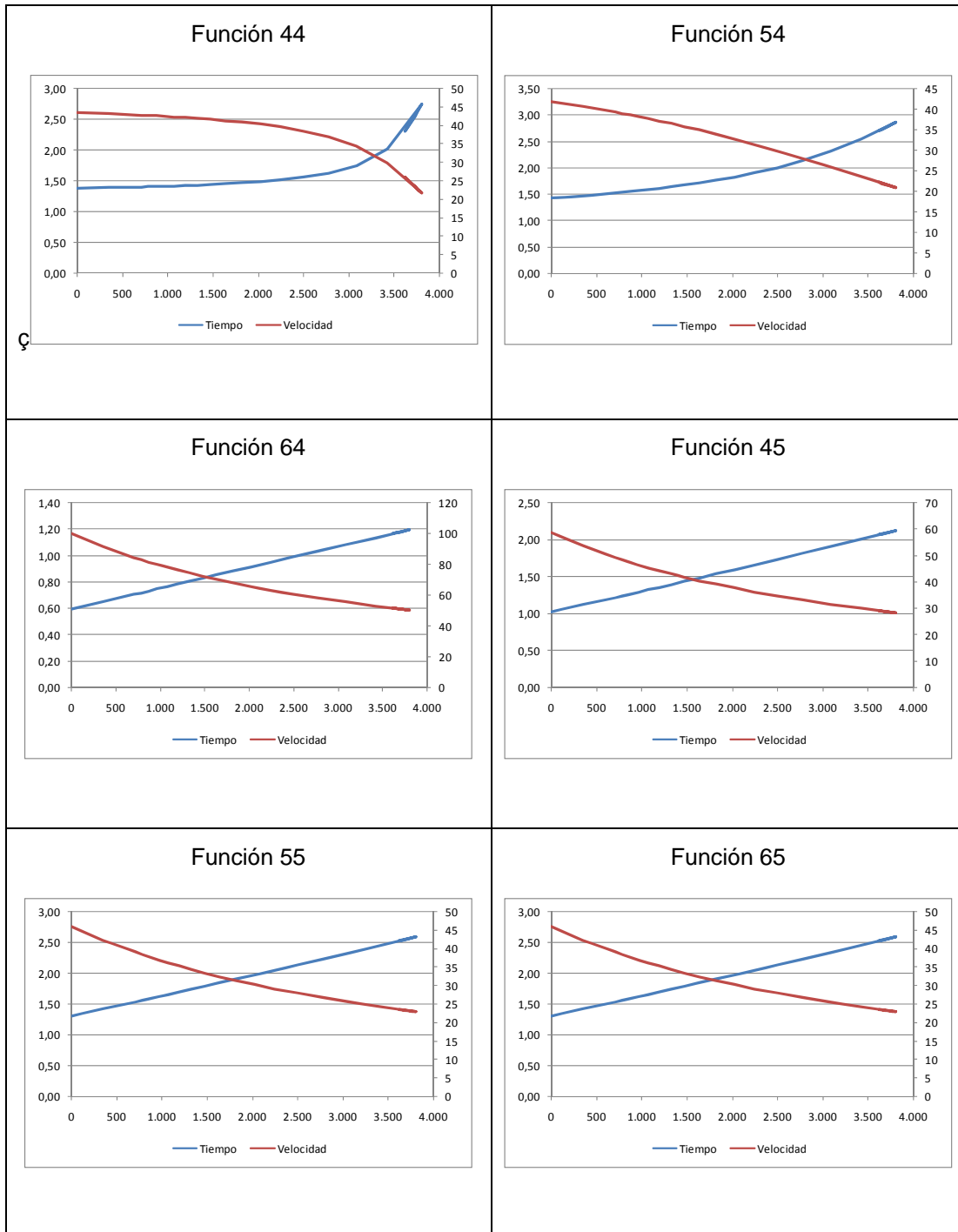
**Tabla 3-39 Parámetros de las funciones calibradas al 2008**

VdF	Parámetro inicial	Alfa^2	Beta^2	Alfa	Beta
fd44	1,377	65,626	1,146	8,101	1,070
fd45	1,100	1,100	126,429	1,049	11,244
fd57	1,900	1,050	451,433	1,025	21,247
fd47	1,324	1,001	1.002.501,437	1,000	1.001,250
fd67	1,050	1,100	126,429	1,049	11,244
fd54	1,350	1,100	126,429	1,049	11,244
fd55	1,250	1,010	10.251,437	1,005	101,249
fd64	0,550	1,100	126,429	1,049	11,244
fd74	1,700	3,000	2,833	1,732	1,683
fd65	1,300	1,100	126,429	1,049	11,244
fd46	1,300	1,200	38,920	1,095	6,239

Fuente: Elaboración propia

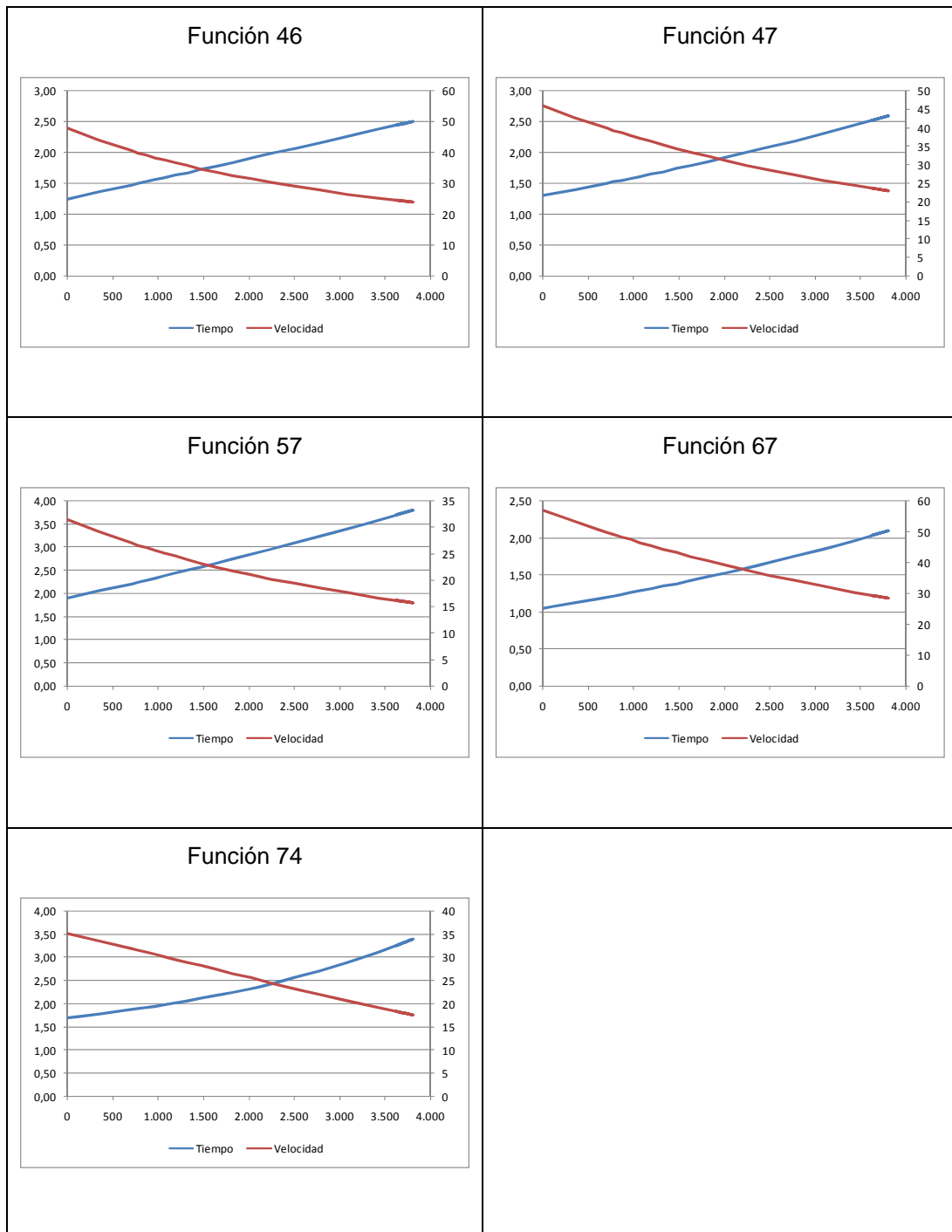
El comportamiento de las funciones puede verse graficado en las siguientes imágenes.

Figura 3-69 Gráficos de las funciones 44, 54, 64, 45, 55, 65.



Fuente: Elaboración propia partir de los datos del EmmeBank

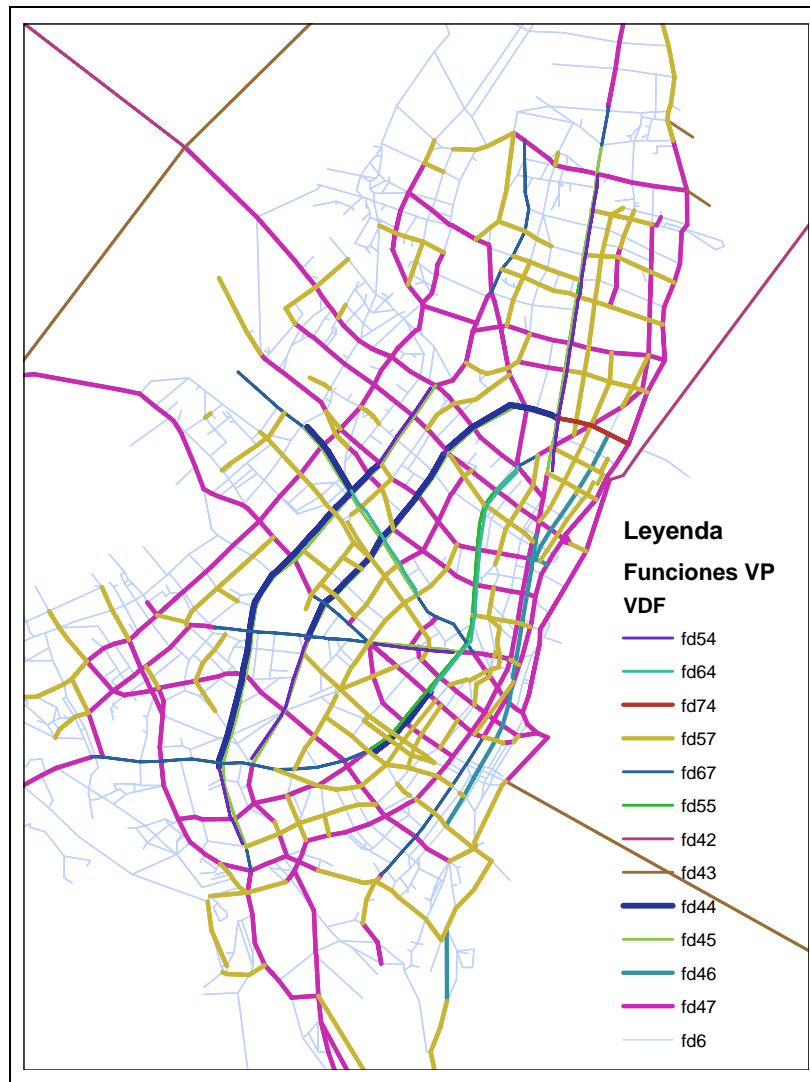
Figura 3-70 Gráficos de las funciones 46, 47, 57, 67, 74.



Fuente: Elaboración propia partir de los datos del EmmeBank

Para las vías tipo 8 con un carril por sentido, tipo 9 y 10 se han mantenido las funciones del estudio SITP (mostradas en el apartado anterior). La ubicación geográfica de cada tipo de arco se muestra en la figura siguiente:

**Figura 3-71 Ubicación geográfica de los arcos de las funciones**



Fuente: Elaboración propia partir de los datos del EmmeBank

### 3.8.2.5 Ajuste del modelo de VP a aforos y velocidades

En general se trata de implantar un proceso de ajuste que incluya tanto tráfico como velocidades. El procedimiento de convergencia se basa en:

- Asignar para obtener volúmenes de tráfico
- Alimentar con estos datos las funciones de retraso, manteniendo los parámetros de todos arcos ya codificados

- c. Realimentar el modelo de distribución con los tiempos obtenidos en los diferentes pares origen-destino
- d. Volver al punto a anterior
- e. Al finalizar el proceso, recalibrar, si es preciso los parámetros de la función de demora para cada una de las definidas
- f. Revisión de los conectores y vuelta al punto a

Este proceso se repite hasta que se obtiene la convergencia en vehículos hora entre los modelos de distribución y asignación. Al finalizar el proceso se verifica el ajuste de aforos y, en caso de no lograr un ajuste adecuado, una vez verificados los elementos de la red, se procede a estimar el ajuste de demanda según el procedimiento de EMME demadj

Para comparar el grado de avance del proceso se iba comparando los resultados del ajuste de aforos y velocidades. En un primer nivel, se ajustaron las velocidades en las condiciones de 2007, observándose desde el principio del proceso iterativo un grado de ajuste consistente con las diferentes matrices probadas que se obtenían como consecuencia de aplicar las condiciones de 2008.

Sin embargo, en el ajuste de aforos se observó, en un primer lugar, que la cobertura de puntos de aforo sólo utilizando 2008 presentaba una cobertura adecuada en la parte central de la ciudad pero no era tan adecuada en los laterales mientras que el ajuste obtenido apenas variaba de una estimación a otra. De esta forma, se procedió a elaborar el @af082 que es el resultado de unir aquellos puntos de aforo de 2007 que podían complementar la información de los aforos de 2008. Para lograr una homogeneización de los valores de 2007 a 2008, se realizó un análisis de regresión entre ambas mediciones y, eliminando los *outliers*, se observó que la regresión determinaba una relación de 1,1 entre ambas mediciones. En consecuencia, y dado el crecimiento que ha observado la ciudad en la Tasa de Motorización en ese mismo periodo, se ha considerado aceptable aplicar un crecimiento del 10% para los aforos de 2007, para poder ser usados en la calibración de 2008.

Bajo estos condicionantes, se trató de elevar la matriz en sus relaciones internas para lograr unos mejores ajustes, pero el resultado de ajuste en aforos apenas variaba, mientras que la velocidad mantenía el ajuste observado en niveles más o menos constantes. Así, se volvió a analizar la red para determinar si se debían a problemas de conexiones, funciones de velocidad, giros. Tras ese proceso de revisión se completaron todos los cambios de centroides comentados y se comprobaron los giros, no variándose significativamente el ajuste de la matriz de demanda modelizada.

En paralelo, se realizó un análisis de los valores de viajes producidos en las diferentes zonas en función de las variaciones que dicha tasa de producción presentaba en el modelo. En este punto cabe decir que si bien el modelo calibrado de la matriz de privado para 2008 era robusto a nivel macrozona UPZ, presentaba menores grados de correlación del ajuste a nivel de zonas, lo que parece indicar que la matriz ajustada podría generar variaciones dentro de esa estructura a nivel de par origen-destino (824 zonas). En consecuencia, se procedió a determinar las matrices que se asignaban en cada uno de los puntos de aforo seleccionados en @af082 (select-links) y, en función de las variaciones observadas para cada estrato y en función del desajuste observado entre el total de cada matriz puntual y su punto de aforo se procedió a incrementar/decrementar las diferentes relaciones afectadas en cada punto, de forma que se pudiera lograr un mejor ajuste. Sin embargo, este proceso tampoco generó el efecto deseado, pues las variaciones de tráfico no permitían ser funcionales para ajustar la matriz a los aforos al cambiarse las rutas de forma sistemática.

En consecuencia, se diagnosticó que el problema era el volumen de viajes de la matriz derivada de la EDM, que como es habitual en este tipo de encuestas infravalora la matriz de viajes en vehículo privado. De esta forma, antes de seguir con el método de ajuste elaborado, mediante un proceso de iteraciones mayor, se consideró más conveniente aplicar un ajuste según el procedimiento del vector gradiente, que es el utilizado por el demadj y que permite mantener la estructura de forma más adecuada que el procedimiento planteado hasta ese momento.

No obstante, la matriz obtenida por este método puede generar tasas de producción mayores que las razonablemente adecuadas, como sucedió en este caso, por lo que es necesario controlar este ajuste. Para ello, se han considerado los siguientes criterios de "racionalidad":

1. Que los ratios de producción (Viajes con origen en cada zona/población de esa zona) estuviera dentro de un margen de variación de un más/menos 75% de la función normal definida como media el valor medio de cada uno de los 6 estratos, según zona, y como dispersión, la observada en la tasa de producción de viajes observada para cada uno de los estratos.
2. Que los valores de tiempos medios de viaje fueran más o menos estables.
3. Que la estructura de viajes entre macrozonas UPZ estuviera correlacionada más de un 70% entre los valores modelizados en 2008 y la nueva matriz ajustada.
4. Que la distribución de la frecuencia de viajes en función de su duración (en intervalos de 5 minutos) también estuviesen relacionadas.

Así, los valores que se obtuvieron para cada estrato se muestran a continuación:

**Tabla 3-40 Controles a las tasas de generación**

Estrato	Mínimo	Máximo	Medio	Ajuste Inicial	Ajuste Final	Variación Inicial	Variación Final
1	0,000	0,029	0,006	0,008	0,006	17%	-8%
2	0,000	0,083	0,010	0,012	0,012	23%	18%
3	0,000	0,112	0,031	0,040	0,039	30%	25%
4	0,000	0,151	0,089	0,154	0,145	73%	63%
5	0,000	0,234	0,153	0,193	0,180	26%	18%
6	0,000	0,310	0,242	0,323	0,308	33%	27%

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que como mínimo se deja partir del valor 0, para no incluir valores poco significativos, mientras que se limita el rango de producción de viajes en las zonas diferenciándose por estrato predominante. Así, en el ajuste directo de demadj a nivel global se observa que el estrato 4 y 6 superaría ese límite considerado como razonable mientras que realizando esa corrección de producción se encontrarían todos los estratos dentro de los límites establecidos (y, también, todas las zonas de los diferentes estratos).

En segundo lugar, era necesario estimar los tiempos medios observados, que se observa están dentro de una variación de un minuto, lo que permite también verificar que el ajuste obtenido mantiene la estructura global de duración de viajes. Sin embargo, dicho valor para ser significativo debe ser contrastado con la distribución de frecuencias observada de viajes acumulados en cada intervalo de duración de viaje (se ha analizado el intervalo de 5 minutos).

**Tabla 3-41 Tiempos medios observados y calculados**

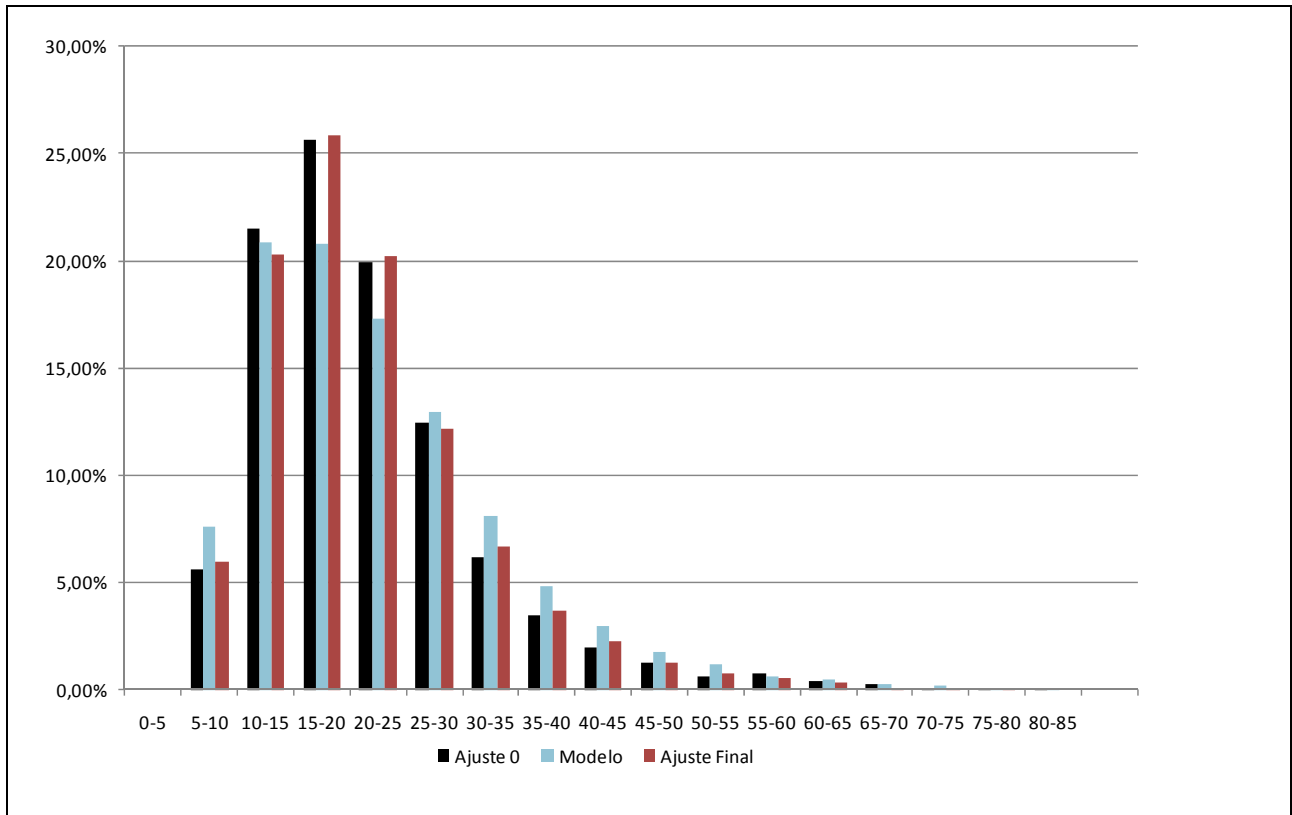
Escenario	Tiempo medio
Modelo	22,51
Ajuste inicial	21,42
Ajuste Final	21,49

Fuente: Elaboración propia



Así, dicha distribución de viajes muestra una correlación del 97% que, aunque cambia el valor más repetido (moda) varía o reduce viajes de menor duración y mayor duración, acortando y concentrando los viajes en relaciones más “medias”. A continuación se muestra en comportamiento de frecuencias de tiempos de viaje.

**Figura 3-72 Porcentaje de distribución de tiempos de viaje**



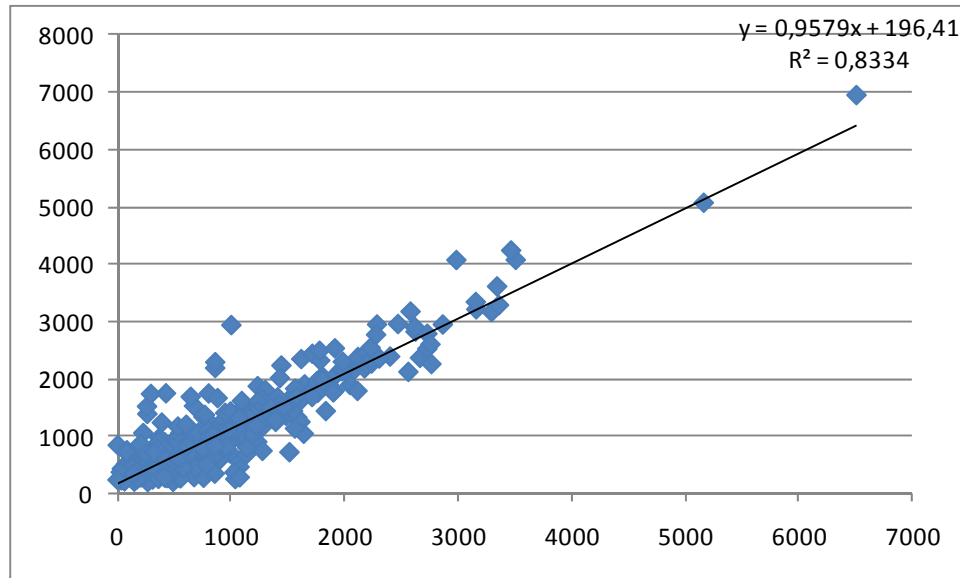
Fuente: Elaboración propia

Es posible ver que los resultados del ajuste final y del modelo se muestran coherentes en cuanto al análisis de frecuencias.

### 3.8.2.6 Verificación de resultados de calibración de VP

Finalmente, el último punto para considerar que el ajuste de la matriz de vehículo privado se ha mantenido en orden, se procede a estimar la correlación entre los valores obtenidos en el modelo y en el ajuste para cada par OD de UPZ, observándose una correlación del 74%. De esta forma, se presentan los ajustes obtenidos de tráfico y velocidades

**Figura 3-73 Resultados de ajuste de volúmenes en el año 2008**

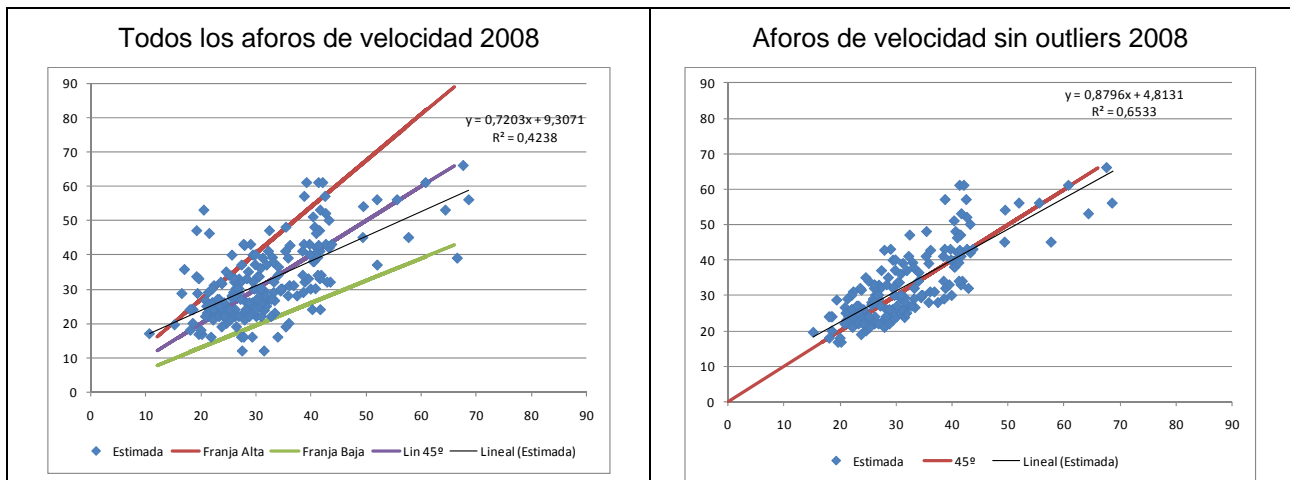


Fuente: Elaboración propia partir de los datos del EmmeBank. Comparación volumen-aforos

Como se puede ver en la imagen anterior el grado de ajuste supera el 80% observándose que en los valores más altos de 4.000 el ajuste es adecuado (grandes vías) mientras que en el resto de capacidades el resultado obtenido presenta una mayor variación. Sin embargo, el hecho de tener combinados aforos de dos años diferentes puede explicar esa variación y, en consecuencia, dado el ajuste estructural de la matriz obtenida por el procedimiento de ajuste se considera un nivel adecuado. El proceso del vector gradiente permite obtener ajustes mayores, pero a cambio de modificar la estructura de la matriz en una mayor medida.

En la siguiente imagen se comparan los resultados de calibración de las velocidades, comparando el resultado de análisis con todos los aforos de velocidad el resultado con los valores de velocidad filtrados, contenidos en el atributo @velc2.

Figura 3-74 Resultados de ajuste de velocidad en el año 2008



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia, la dispersión es relativamente alta, por lo que se recurrió a otros indicadores de ajuste: la media y la desviación típica observada y modelada y el parámetro GEH. Este indicador está basado en una función que pondera el volumen absoluto sobre el que se mide cada dispersión. Es decir por ejemplo que una dispersión de 10% sobre un volumen de 10.000 vehículos (una diferencia de 1.000) es mucho más crítica que una discrepancia de 10% sobre un volumen de 1.000 (sólo 100 veh/h). La escala de valores GEH indica que un resultado por debajo de 10 es aceptable. En este caso, el GEH final sobre todos los puntos de control es 1,28.

Tabla 3-42 Resultados estadísticos del ajuste

VDF	N° Observaciones	Media		Desviación estándar	
		Observada	Estimada	Observada	Estimada
44	23	41	41	10,7	2,5
45	31	30	28	6,7	5,3
46	5	25	25	4,6	2,8
47	75	27	28	7,9	4,8
57	18	24	23	5,1	3,7
67	16	35	39	10,0	7,1
54	6	42	41	4,5	0,4
55	9	36	34	7,5	4,0
64	12	54	63	7,6	9,7
74	4	30	29	8,2	1,9
<b>Total</b>	<b>199</b>	<b>32,0</b>	<b>32,6</b>	<b>11,0</b>	<b>10,8</b>

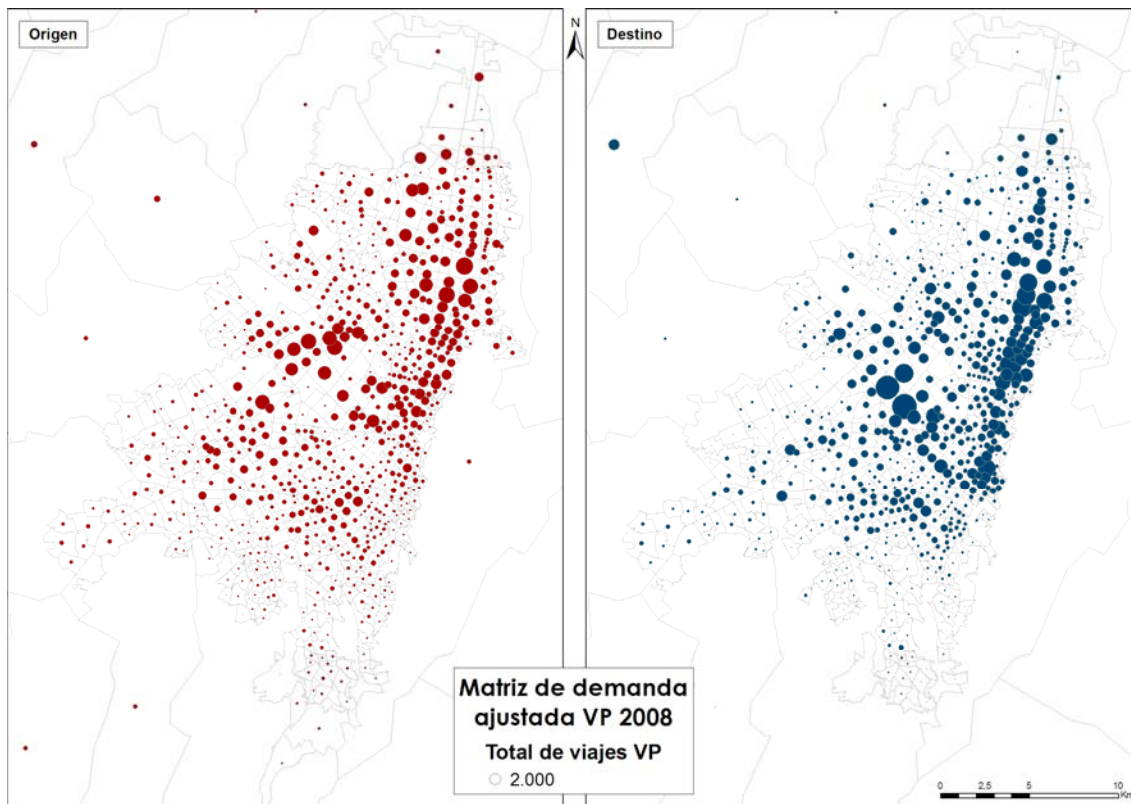
Fuente: Elaboración propia

El total de viajes de vehículos privados obtenido ha sido de 265.546 (almacenados en la matriz mf104) a diferencia del total del modelo SITP 2007, en el cual se contaba con una matriz de 216.449 vehículos

privados. El nuevo resultado presenta una tasa de ocupación promedio de 1,31 personas/vehículo (vector de ocupación por zonas se encuentra en el vector m01).

A continuación se adjuntan las imágenes que contienen la representación gráfica de los orígenes de viajes, así como los destinos.

**Figura 3-75 Distribución de viajes sobre nueva matriz**



Fuente: Elaboración propia

La imagen previa muestra el comportamiento de la demanda resultante en el modelo calibrado al 2008, en donde se identifican las principales zonas de generación principalmente en las zonas de estratos altos, como esperado. En cuanto a los destinos de viajes, se presentan dos concentraciones importantes, el centro de la ciudad, el centro expandido y la zona norte.

### 3.8.3 AJUSTE Y CALIBRADO DEL MODELO PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO

El ajuste del modelo de asignación para transporte público corresponde a la aplicación de la nueva matriz de demanda al 2008, la cual ha sido determinada como se describe en el apartado "Matriz de transporte público al 2008" del presente documento.

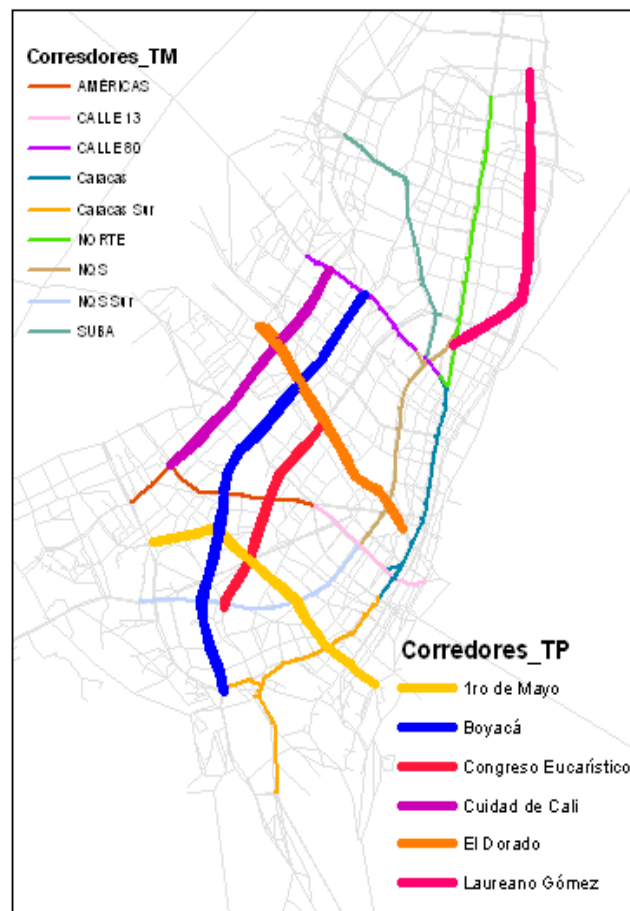
Los puntos más relevantes del modelo de transporte público se basan en que en el calibrado al 2007 ha contenido como punto de ajuste los coeficientes denominados "k", los cuales han permitido fundamentalmente mejorar los resultados de la asignación de transporte privado a través de la modificación del tiempo de viaje.

Una vez que se han obtenido tiempos más adecuados en el nuevo modelo calibrado de transporte privado, los coeficientes “k” se han revisado y ajustado.

Para el proceso de ajuste se ha contado con las estadísticas actualizadas de TransMilenio y los aforos de transporte público sobre la red. Adicionalmente se ha contado con los datos contenidos en el modelo 2007, como son los aforos de TP en número de pasajeros y velocidades de TP para el 2007. De esta manera se ha realizado una verificación completa de los resultados de las asignaciones. Para ello se han codificado las estaciones y los portales, así como los corredores de Transporte.

En la siguiente imagen se presentan los corredores de transporte público analizados. Se han identificado los corredores que cuentan con troncales de TransMilenio, y aquellos de transporte público colectivo, que representan una parte importante de la movilidad de la ciudad de Bogotá.

**Figura 3-76 Corredores analizados de Transporte Público y TransMilenio**



*Fuente: Elaboración propia*

En el proceso de calibración se ha respetado la codificación de la oferta en particular la de TM. Se ha mantenido la codificación de las líneas aunque se ha puesto a prueba ciertos parámetros. Capacidades, trayectos, velocidades y frecuencias se han mantenido tal como están codificadas originalmente en el escenario simple y el expandido. Solo se han recodificado funciones sobre algunos segmentos.

Se ha respetado igualmente el proceso de asignación con transferencias entre modos (las estaciones en “torres”) y por lo tanto todas las secuencias de macros de programación.

El proceso de ajuste del modelo de asignación de transporte público se ha constituido como se describe a continuación:

- Análisis de sensibilidad de la demanda por variación de VDT y pesos de tiempo
- Ubicación geográfica de los K (funciones de demora de las líneas de transporte público)
- Análisis de sensibilidad al parámetro K en escenario 2007
- Ajuste al escenario 2008 (iteraciones)
- Verificación de resultados en:
  - Corredores y estaciones de TransMilenio
  - Corredores de transporte público colectivo

### 3.8.3.1 Análisis de sensibilidad de la demanda

El análisis de sensibilidad ha sido necesario para determinar las posibilidades de mejorar el modelo calibrado al 2007 y se ha basado en la variación de VDT y pesos de tiempo desde -30% a 30%:

- Valor del Tiempo (VDT)
- Peso del tiempo de espera (WT)
- Peso del tiempo de abordaje (BT)
- Tarifa (de forma indirecta)
- Tiempo de viaje en vehículo privado

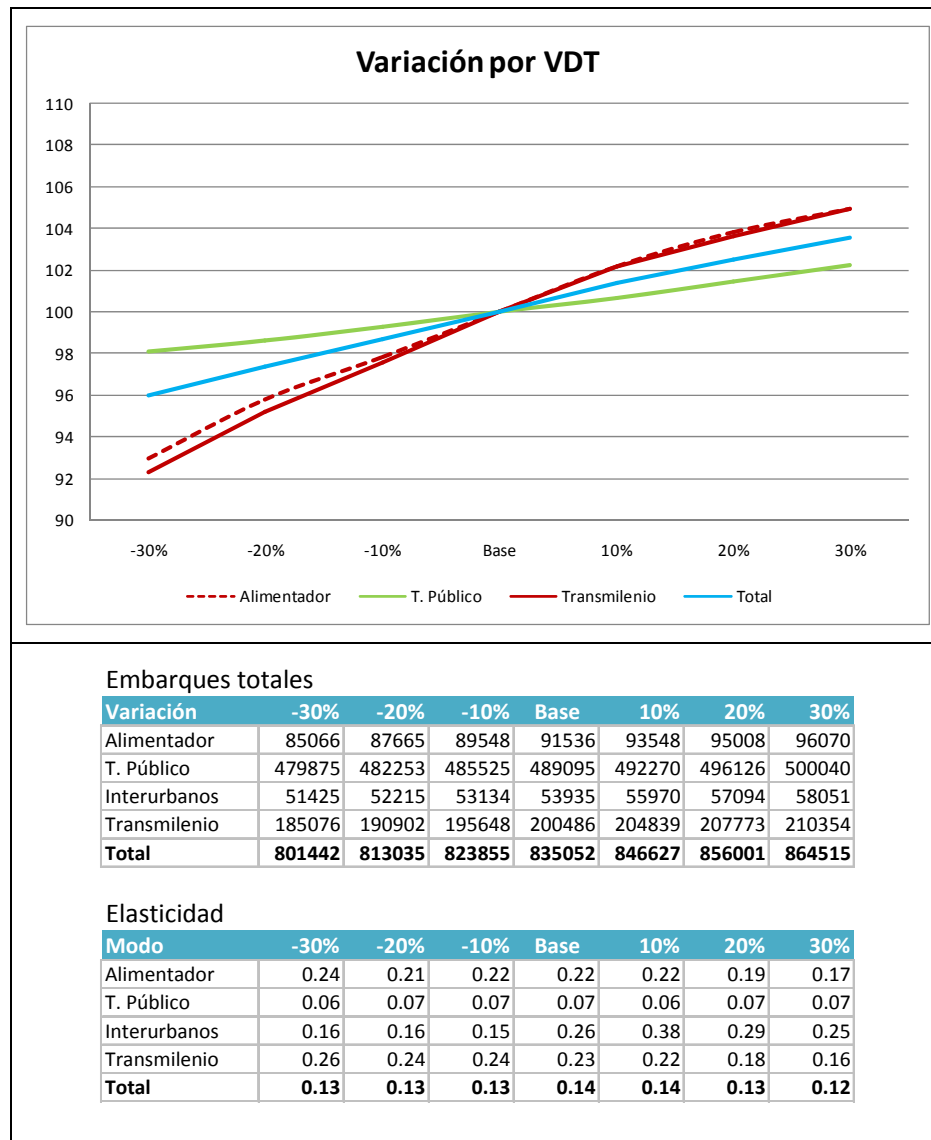
Los resultados se describen a continuación, presentando la gráfica normalizada para los modos TransMilenio, Transporte Público colectivo y los alimentadores. Se incluyen de la misma manera los totales de embarques y la elasticidad de cada modo a las variaciones.

#### 3.8.3.1.1 Sensibilidad a la variación del valor del tiempo

Como es posible ver en la siguiente gráfica, la elasticidad del sistema en general es más baja de la norma (-0.30), sin embargo:

- La elasticidad de TM y alimentadoras es la más variable. El incremento de VDT muestra que TM irá cada vez ganando menos demanda con un incremento adicional del VDT. Es decir que reducir la tarifa tiende a converger a un valor estable.
- Las alimentadoras se comportan de la misma forma que TM, como era de esperarse.
- La elasticidad de T. Público es baja pero es un resultado coherente con la configuración del sistema actual.

Figura 3-77 Sensibilidad de la demanda a la variación del valor del VDT



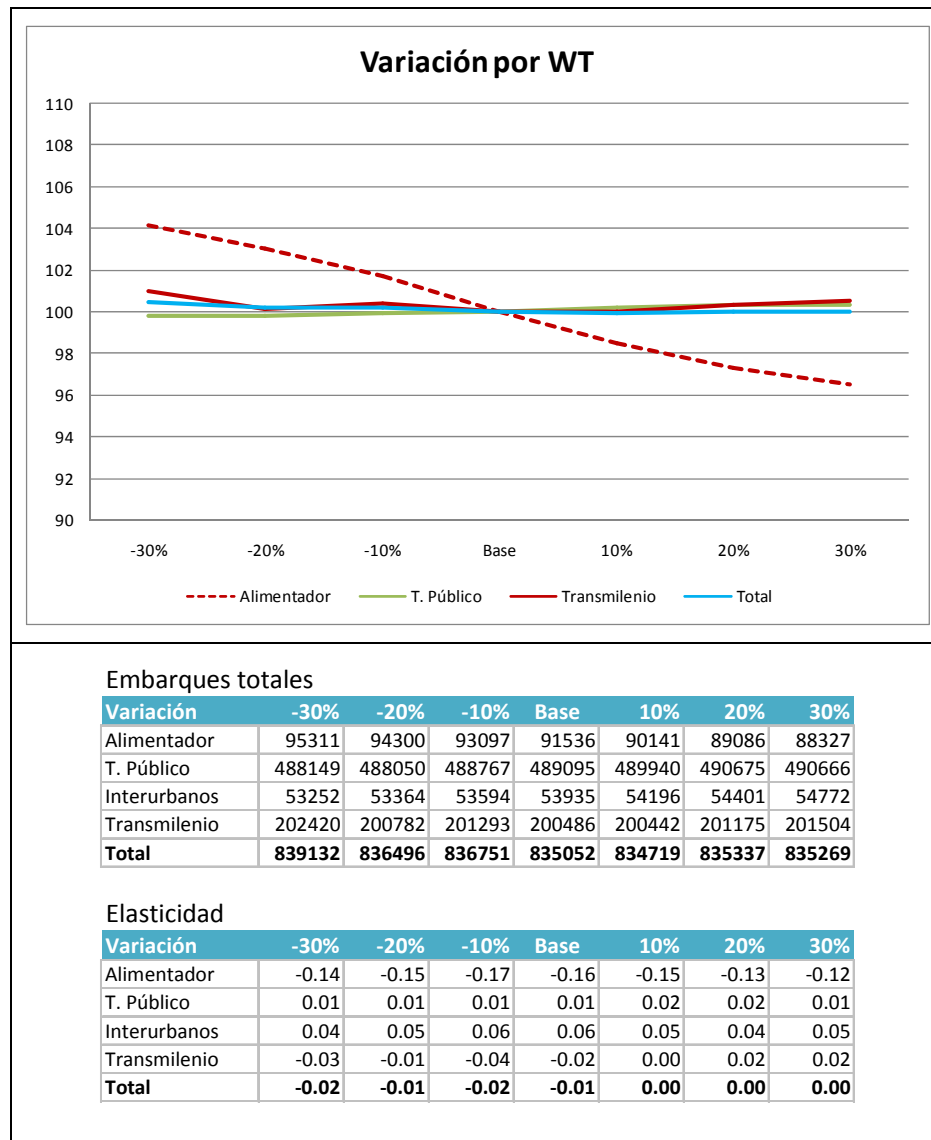
Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.1.2 Sensibilidad a la variación del peso del tiempo de espera

TransMilenio y T. Público resultan poco sensibles a la variación del peso del tiempo de espera porque la frecuencia de paso conjunta implica un intervalo de espera muy bajo.

Los alimentadores resultan más sensibles y esto se puede explicar por la oferta de servicio que generalmente no junta recorridos en el mismo trazado provocando un intervalo medio más alto.

Figura 3-78 Sensibilidad de la demanda a la variación del peso del WT



Fuente: Elaboración propia

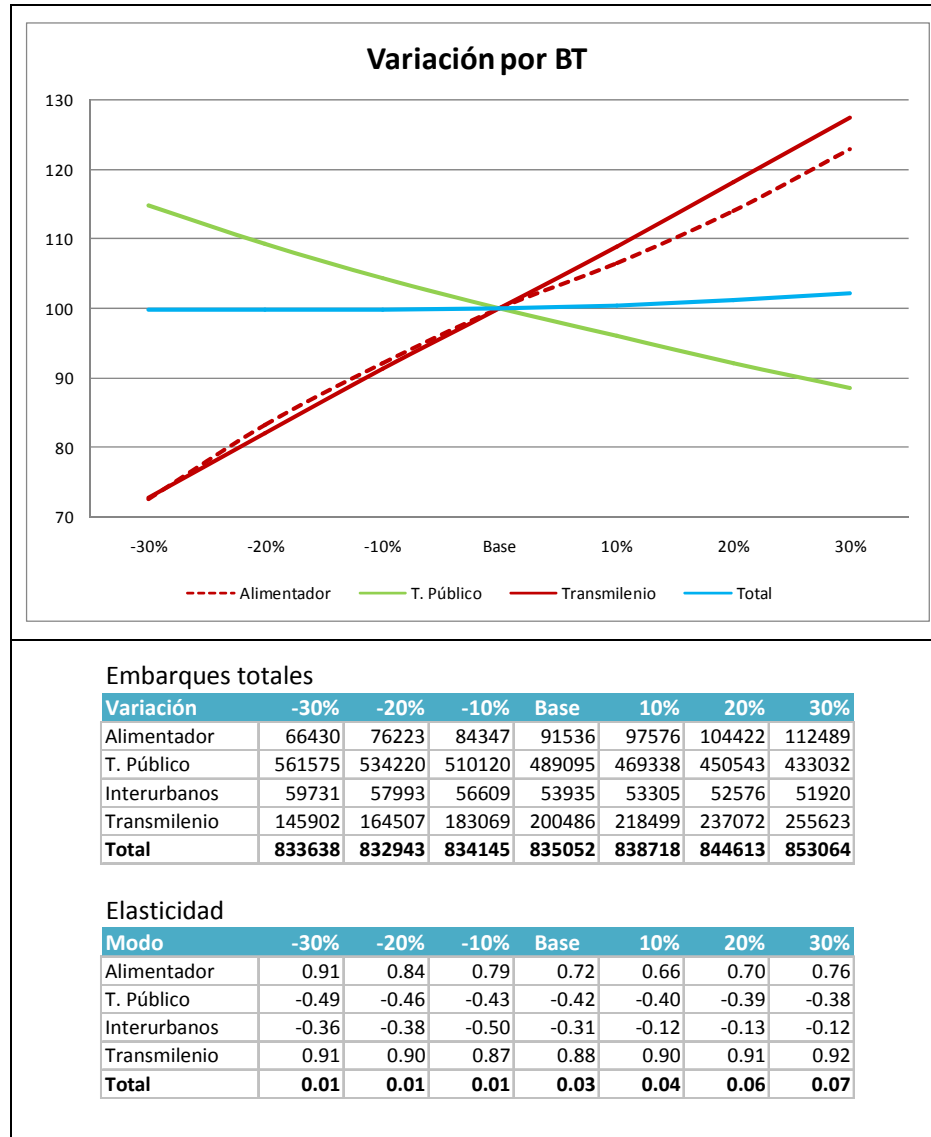
### 3.8.3.1.3 Sensibilidad a la variación del peso del tiempo de abordaje

La elasticidad del T. Público es negativa, lo cual indica que a mayor peso del BT, menos embarques. Esto favorece o aumenta los totales en TransMilenio.

Mientras más se penaliza el embarque del sistema “no integrado”, más se capta en TM casi en una relación 1:1 esa decir un 10% de penalización en el tiempo de embarque de los modos b y l provoca un 9% de incremento en TM. Por otro lado el TP general es menos sensible a incrementos de tiempo de embarque.



Figura 3-79 Sensibilidad de la demanda a la variación del peso del BT



Fuente: Elaboración propia

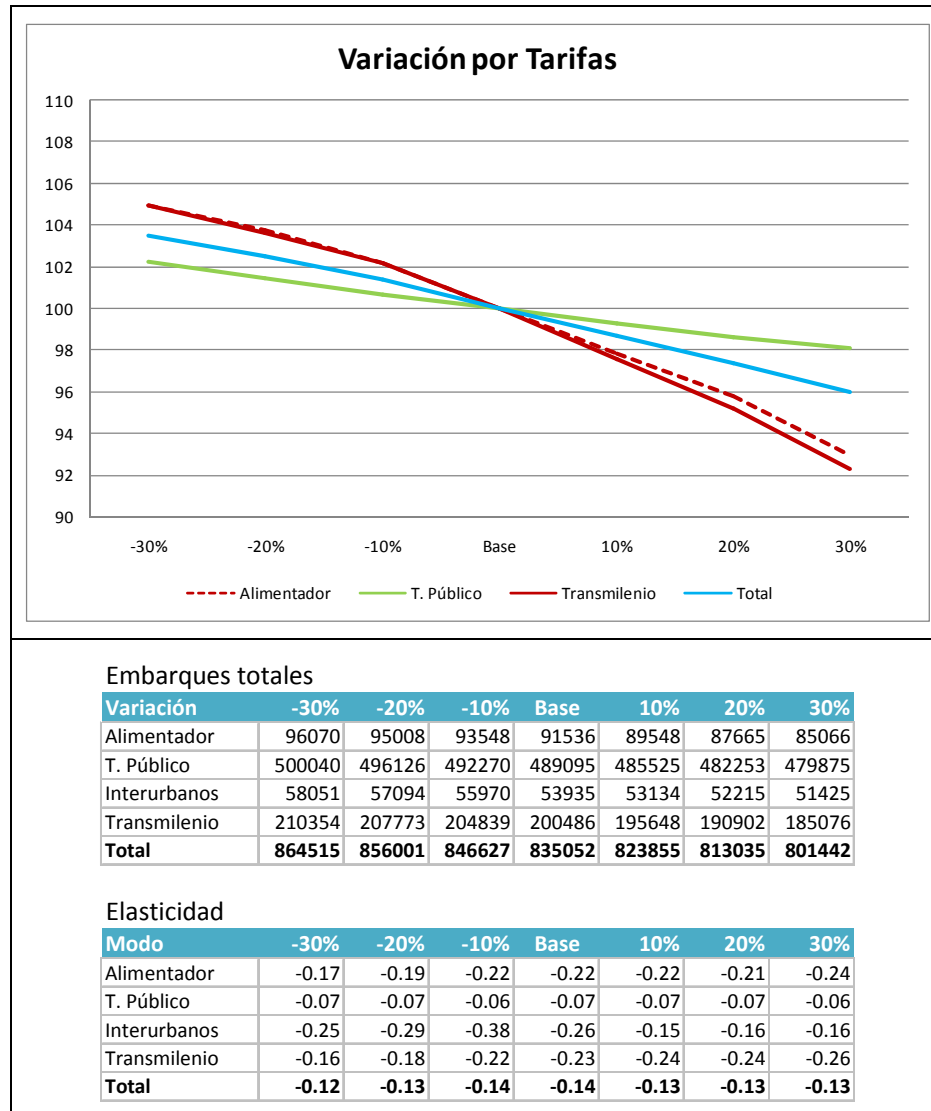
#### 3.8.3.1.4 Sensibilidad a la variación de la tarifa

La tarifa en este caso, se ha calculado de forma indirecta, tomando los resultados de la prueba de Valor del Tiempo. Mayor valor de tiempo=menor tarifa.

$$\text{Tarifa} = K / (\text{Valor del Tiempo})$$

La poca sensibilidad del Transporte Público (modo b) se puede explicar por las tarifas base relativamente bajas

**Figura 3-80 Sensibilidad de la demanda a la variación indirecta de las tarifas**

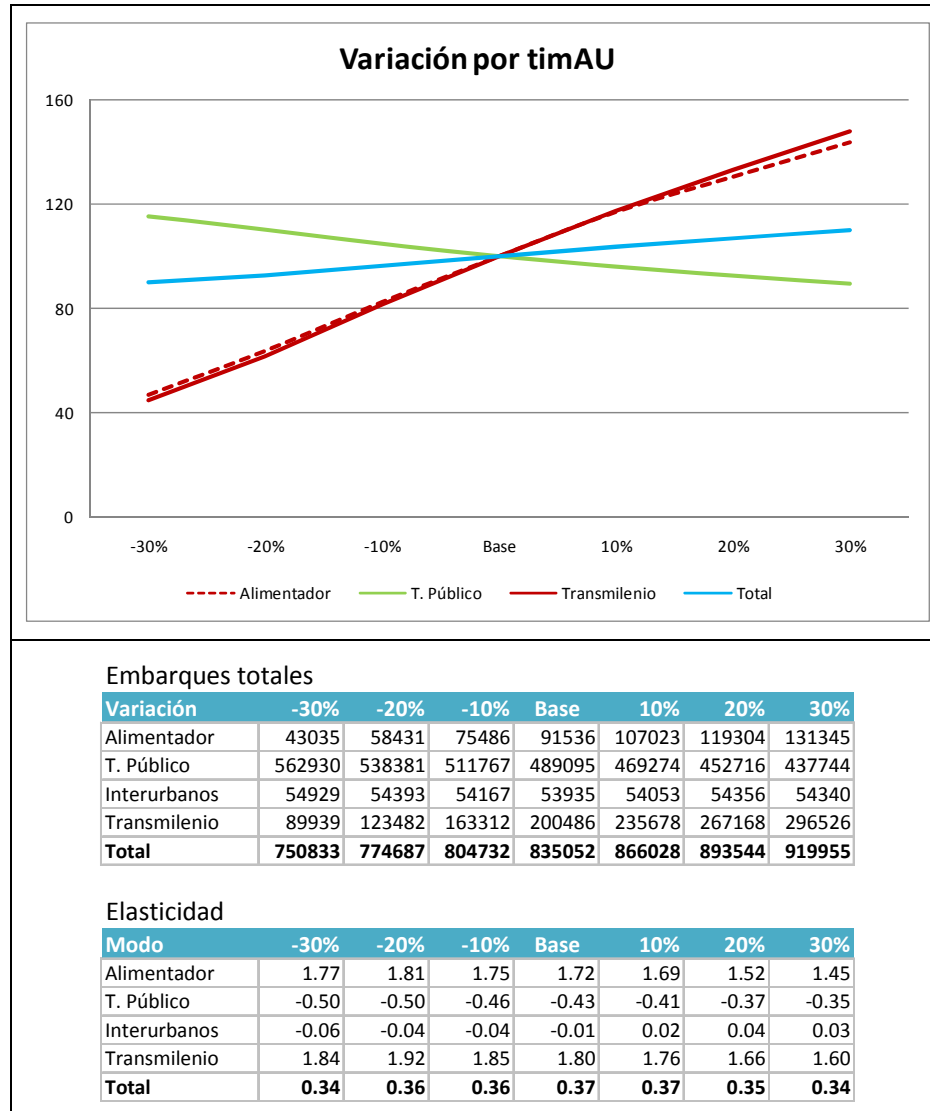


Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.1.5 Sensibilidad a la variación del tiempo de viaje de vehículo privado

Es notable la sensibilidad de TM a los cambios de tiempos de vehículos privados. Adicionalmente, el comportamiento de esta variable es la que determina los valores “k” de las funciones de transporte público.

Figura 3-81 Sensibilidad de la demanda a la variación del tiempo de VP



Fuente: Elaboración propia

Una vez concluido el proceso de análisis de sensibilidad se ha identificado que la variable más recomendable para calibrar el modelo es el peso del tiempo de abordaje.

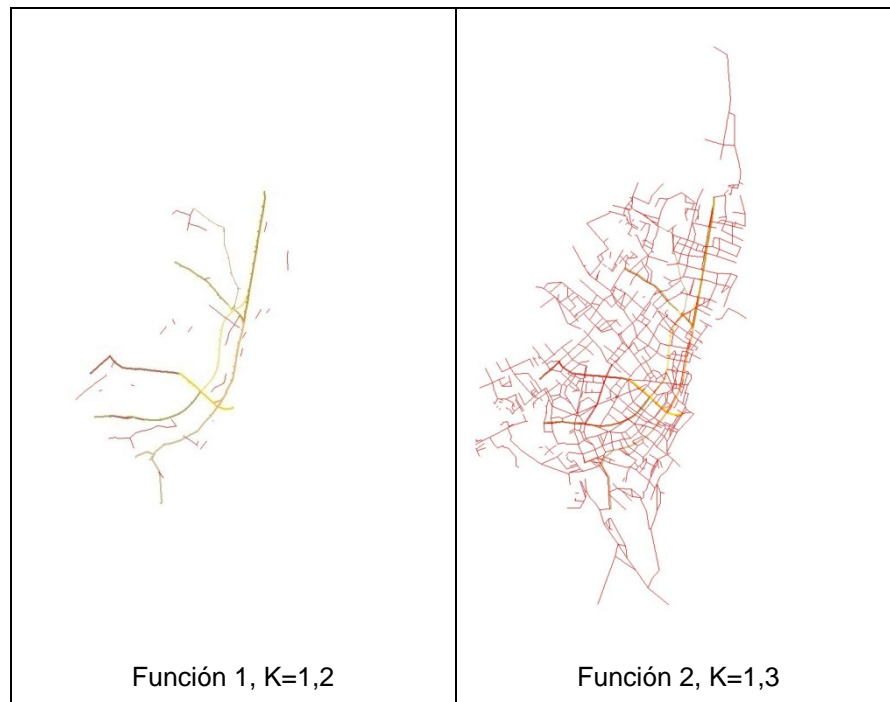
Es importante resaltar que los volúmenes de carga de TransMilenio resultan notablemente sensibles a cambios en el valor subjetivo del tiempo, y a los tiempos de vehículo privado.

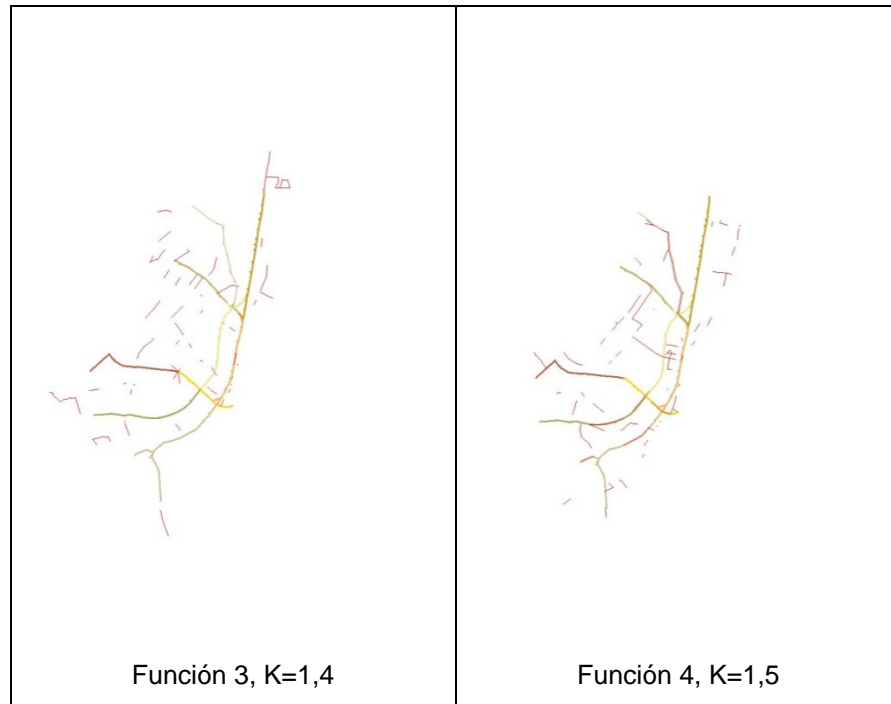
### 3.8.3.2 Ubicación Geográfica de los “k”

La identificación de la ubicación geográfica de los k ha servido para identificar cuáles de ellos presentan un mayor efecto sobre los puntos en los cuales se cuenta con datos observados, como son las estaciones, portales y corredores TM.

Esta ubicación está relacionada con la función de demora que aplica a cada segmento. En el presente modelo cada arco contiene una única función de demora para transporte público. De esta manera, a continuación se muestran los mapas con la ubicación de las funciones.

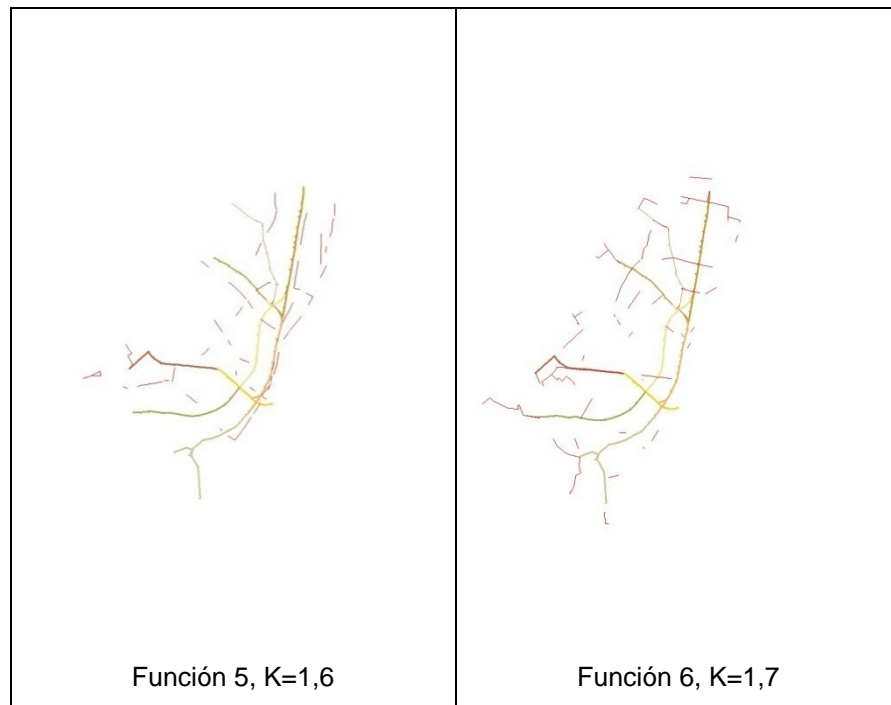
**Figura 3-82 Ubicación geográfica de las funciones 1, 2, 3 y 4**

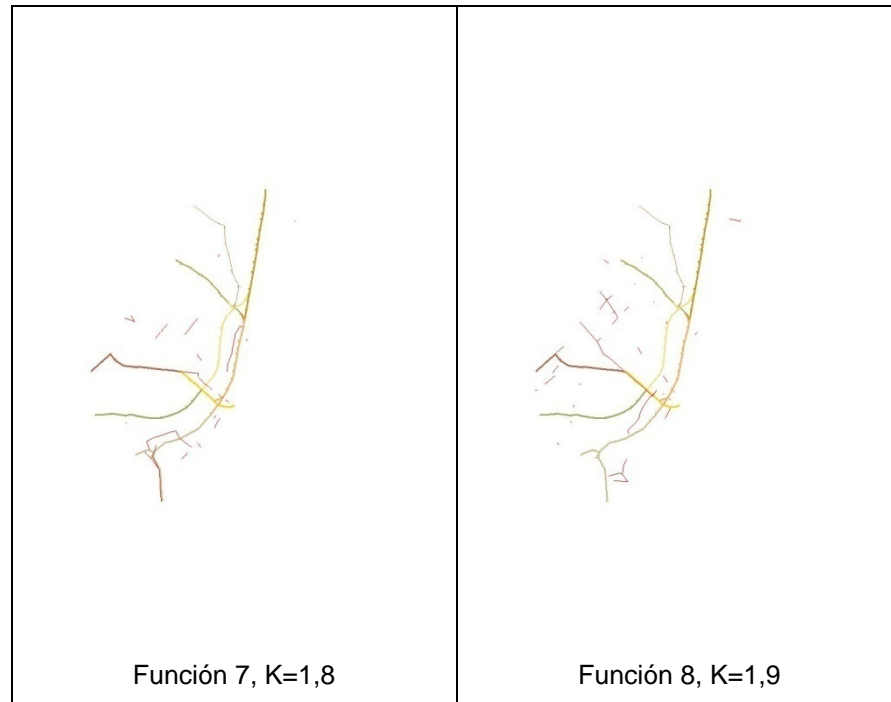




Fuente: Elaboración propia con datos del modelo SITP 2007

**Figura 3-83 Ubicación geográfica de las funciones 5, 6, 7 y 8**





Fuente: Elaboración propia con datos del modelo SITP 2007

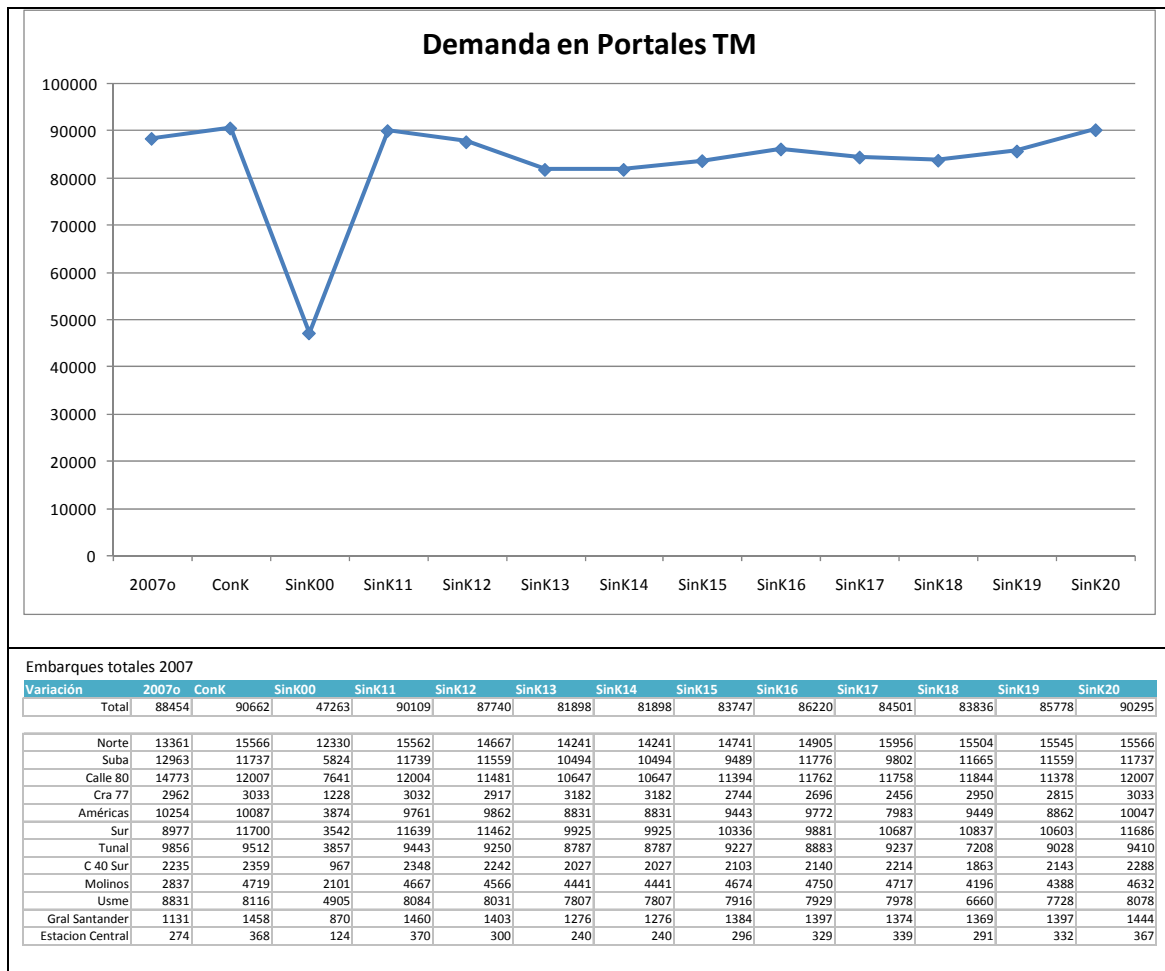
Como se puede observar, la función 2 cubre la mayor parte de la red, sin embargo, las funciones 3 y 4 son aplicadas a las líneas paralelas a las troncales TransMilenio.

### 3.8.3.3 Sensibilidad a los parámetros k en la demanda TM

Se ha calculado la demanda TransMilenio y comparado con los valores observados para el año 2007. La primera prueba se ha basado en cambiar todos los valores K por 1. Lo que se entiende como "sin K".

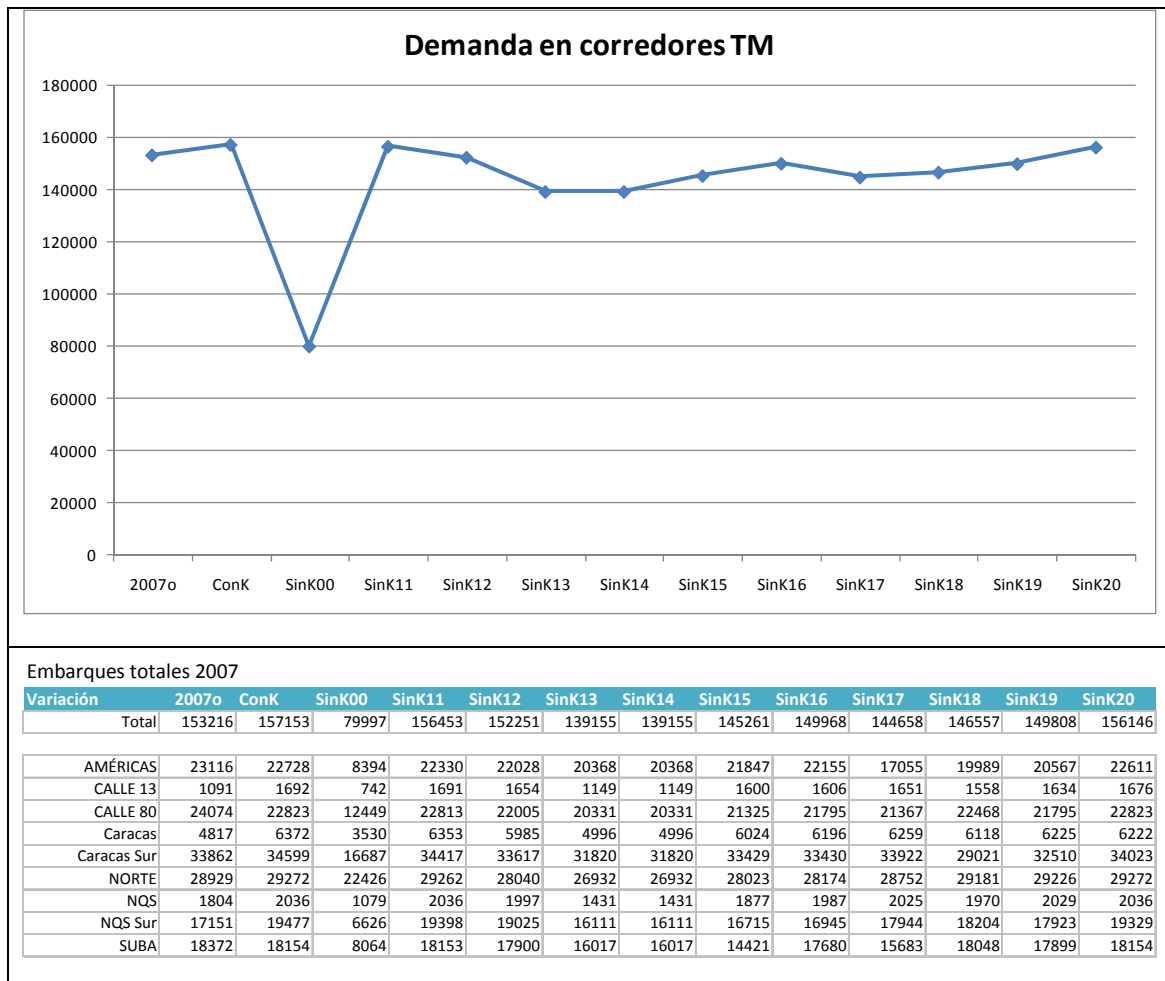
El resto de las pruebas ha consistido en dejar todos los K originales menos el que se desea examinar, sustituyendo uno a uno cada K por 1, de manera de ver el efecto de cada K de forma individual. Por ejemplo: el caso SinK15 se refiere a que la  $K = 1.5$  ha sido sustituida por 1 y el resto de K se mantienen originales.

Figura 3-84 Sensibilidad de los portales TM a los valores K



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-85 Sensibilidad de los corredores TM a los valores K



Fuente: Elaboración propia

Estas dos comparaciones permiten entender la importancia de los k en cuanto a la demanda TransMilenio en el modelo calibrado 2007. Se puede ver que puede disminuirse el total de demanda en más del 40%.

Aunque puede notarse mayor sensibilidad en los corredores ya que se presentan cambios con magnitudes mayores, ambas comparaciones resultaron con un comportamiento muy similar, de esta manera se pueden prever los efectos sobre la demanda, al modificar los valores de k.

### 3.8.3.4 Ajuste del escenario 2008 con modificación de factores k

Debido a los cambios producidos en la calibración de vehículo privado, los valores k deben ser revisados.

El procedimiento seguido ha sido el de realizar pruebas miradas a reducir cada vez más la cantidad de segmentos de líneas de transporte público a los cuales era necesario aplicarle corrección con K en el modelo calibrado al 2007.



#### 3.8.3.4.1 Proceso preliminar de reducción de los factores “k”

Como primer paso, se intentó reducir el número de factores K para obtener una red más homogénea. El objetivo fue reducir al mínimo la dependencia de factores arbitrarios de la velocidad del vehículo privado. Este proceso se resume a continuación.

Para lograr eliminar las K, se han propuesto cambios en el Peso del tiempo de embarque. Los efectos de las distintas pruebas fueron variables debido a la cobertura de cada uno de los valores K.

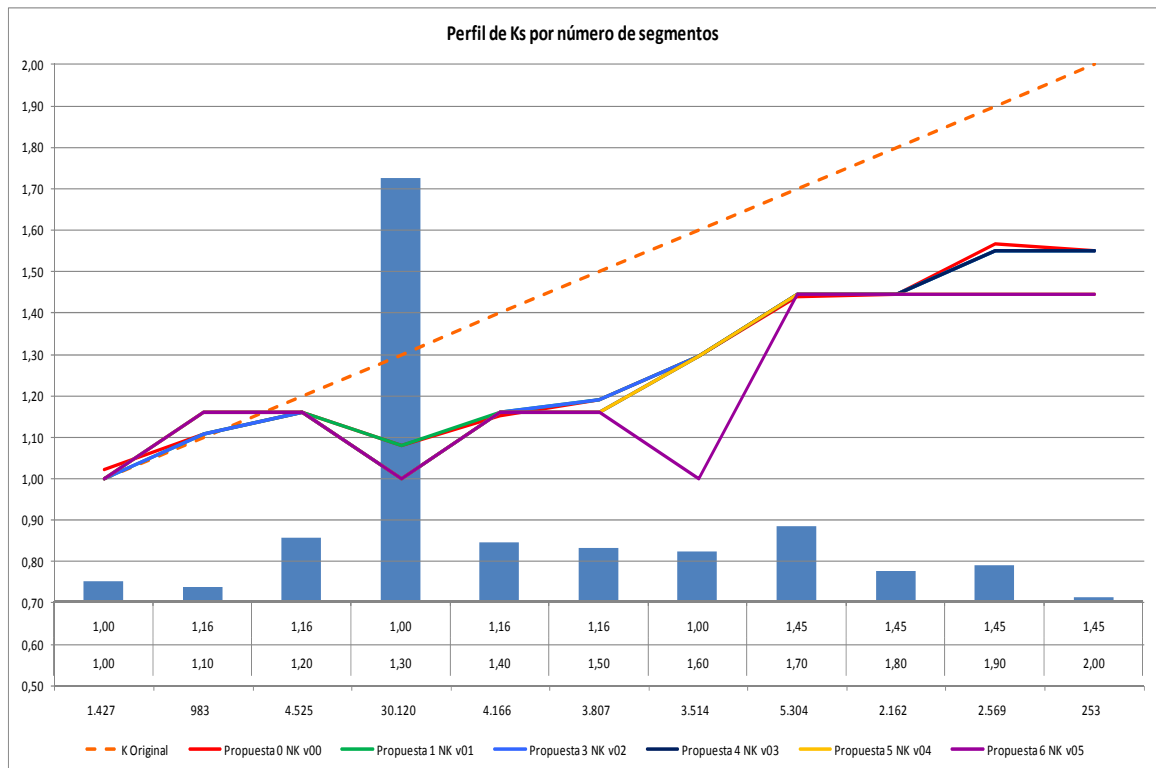
A continuación se presenta un resumen de las propuestas realizadas para estos análisis, en paralelo a los efectos de las mismas sobre la red de transporte público.

Los resultados de estas pruebas fueron contrastados en primer lugar con los totales de demanda observados corredores y portales TM así como las velocidades de Transporte Público y los aforos de autobuses.

Debido a que en el modelo calibrado al 2007 se cuenta con valores de K que varían desde 1 hasta 2, aplicándose a distintas cantidades de segmentos de líneas, en la figura siguiente se muestra la proporción de segmentos afectados por cada una de las K.

Puede verse que la mayor parte de los segmentos se encuentran corregidos con el factor  $k = 1.3$ , más de 30.000 segmentos.

Figura 3-86 Análisis preliminar de la reducción de los factores k



Fuente: Elaboración propia

En la misma gráfica puede verse en punteado los K originales, los cuales implicaban para cierto número de segmentos de línea un importante aumento del tiempo de viaje de privado, con K mayores a 1,6.

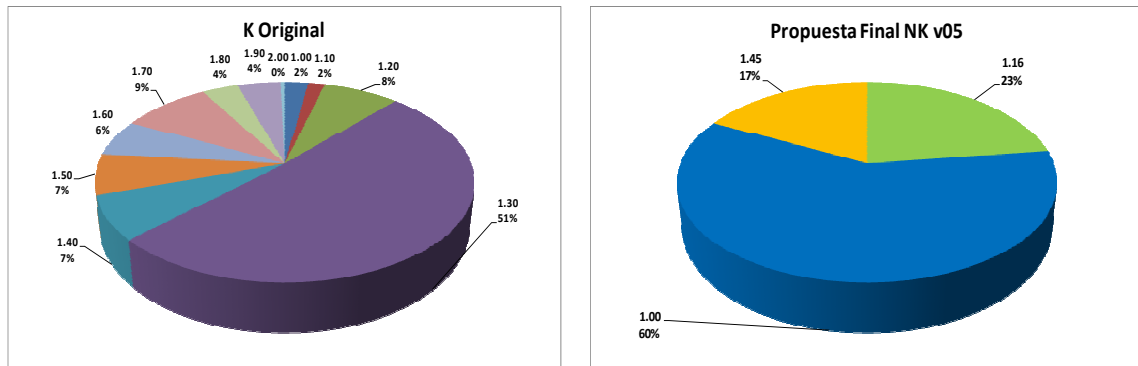
De este análisis, derivado de la utilización de 11 k's diferentes (incluyendo k=1) se realizó un proceso secuencial que consistió en ir eliminando el número de valores de la k, tratando de que dichos valores llegasen a presentar valores lo más bajos posibles.

Las líneas más irregulares representan las pruebas de disminución de parámetros K que permiten un adecuado equilibrio entre la demanda TM y los resultados del modelo. La opción seleccionada en la primera etapa de calibración corresponde a la combinación de K versión 5, la cual permite igualar la mayor parte de los K originales a 1. Esta combinación seleccionada de forma preliminar, cuenta con un aumento del peso del tiempo de embarque igual a 9%.

En consecuencia, se llegó a una situación de tan sólo cuatro valores k diferentes (incluyendo k=1) con una pérdida poco importante en el indicador de dispersión. Sin embargo, para que esto fuera posible, se incrementó el *Boarding Time Bonus* en un 1,09 (es decir, se penalizó a los 7 minutos actuales del sistema colectivo externo a TransMilenio con una penalización del 9%, para generar 7,63 minutos de penalización por embarcar en busetas, alimentadoras y líneas interurbanas en paradas no conectadas con el Sistema TransMilenio Troncal).

Con estas condiciones se han obtenido una distribución de valores K que se presenta a continuación. Se comparan los totales de segmentos de red originales y propuestos que se ven afectados por K.

Figura 3-87 Disminución de los factores K

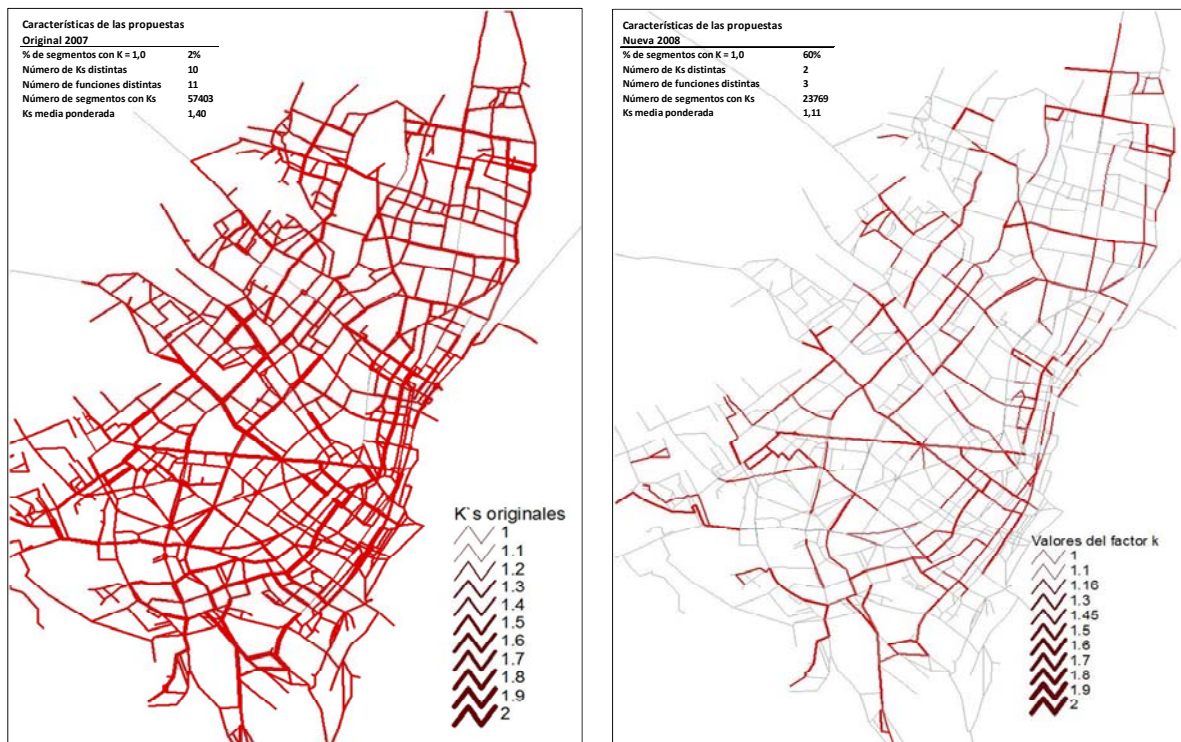


Fuente: Elaboración propia

Esta reducción de los K permite tener un mayor control de los parámetros del sistema, lo cual facilita su uso al futuro. Es cierto que a menor número de K los resultados en velocidades de transporte público se han visto afectados, como se puede ver en las comparaciones presentadas más adelante.

A continuación puede verse la aplicación de K en el modelo calibrado al 2007 y aquella para el modelo 2008.

Figura 3-88 Disminución preliminar de los factores K sobre la red



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.4.2 Cálculo definitivo de nuevos factores k

Una vez definidos los valores k preliminares se ha continuado con el proceso de iteraciones con el fin de plantear una calibración del modelo de transporte público que resultara fácilmente aplicable a los escenarios de modelación futuros. Se consideró que lo más deseable era no alterar el peso del factor de embarque. Dicho factor es más difícil de proyectar al futuro debido a la forma en que funciona el modelo integrado de tarifas en las torres de simulación.

Con este propósito se recurrió a cuatro valores definitivos de K posibles, eliminando la dependencia del factor de embarque:

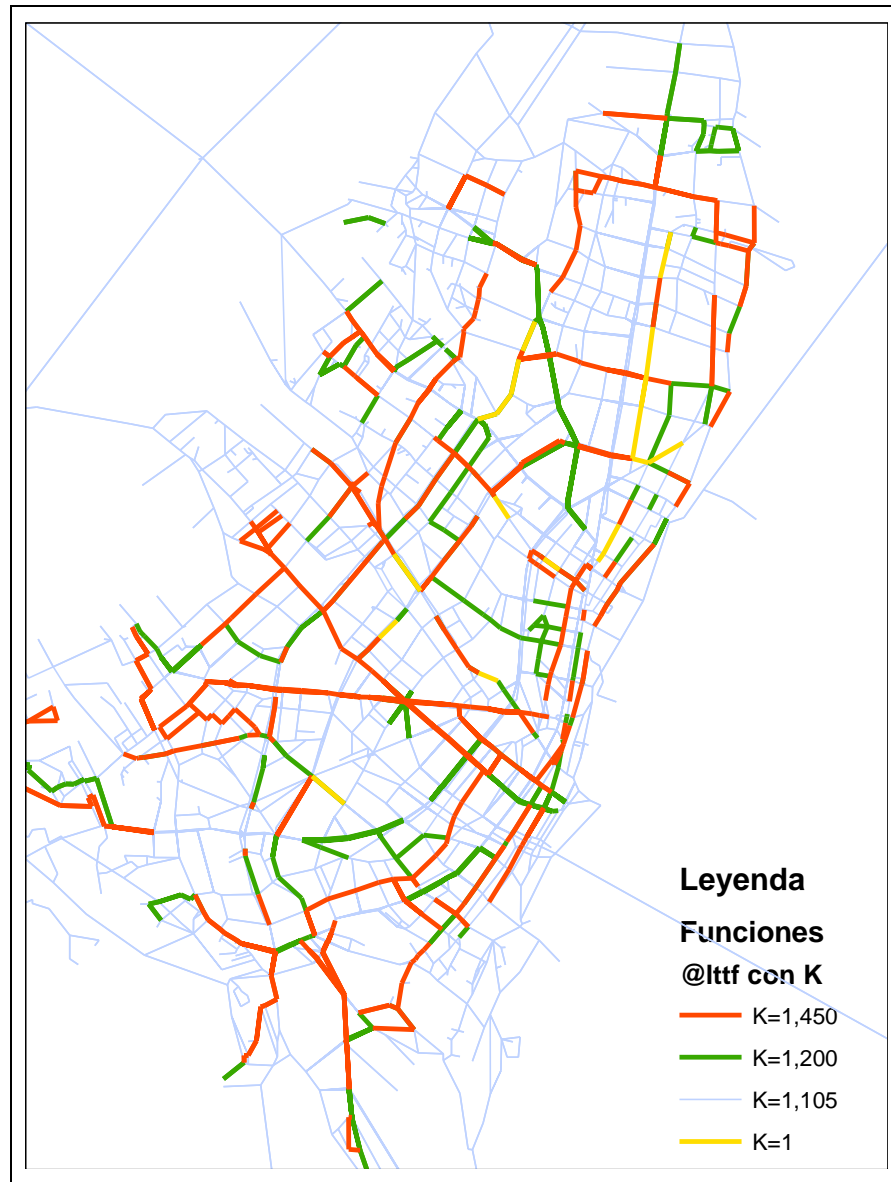
**Tabla 3-43 Valores de K preliminar y final**

Función	Calibración Preliminar	Estado actual de la calibración
ft1	1.160	1.450
ft2	1.000	1.105
ft3	1.160	1.200
ft4	1.160	1.200
ft5	1.000	1.105
ft6	1.450	1.450
ft7	1.450	1.450
ft8	1.450	1.450
ft9	0.000	0.000
ft10	1.000	1.105
ft11	-	-
ft12	-	-
ft13	1.450	1.450
ft14	1.160	1.200
ft15	-	-
ft16	-	1.000

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se ve representada la codificación final de funciones de transporte público.

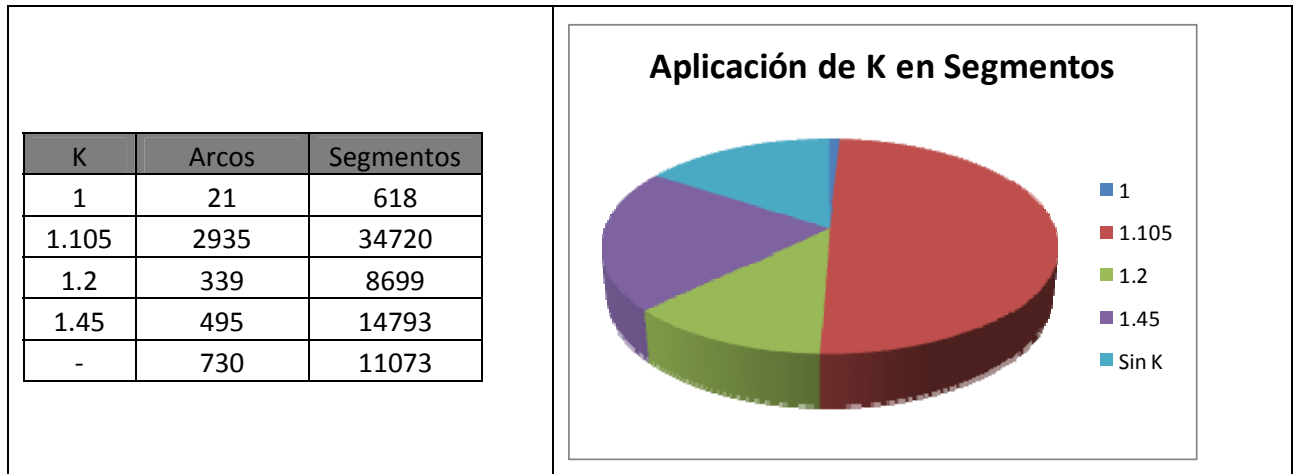
Figura 3-89 Ubicación final de los valores K



Fuente: Elaboración propia

La distribución de la aplicación de los K en arcos de la red así como en segmentos de servicios se presenta en la siguiente imagen.

**Figura 3-90 Distribución de K final sobre arcos y segmentos de línea**



Fuente: Elaboración propia

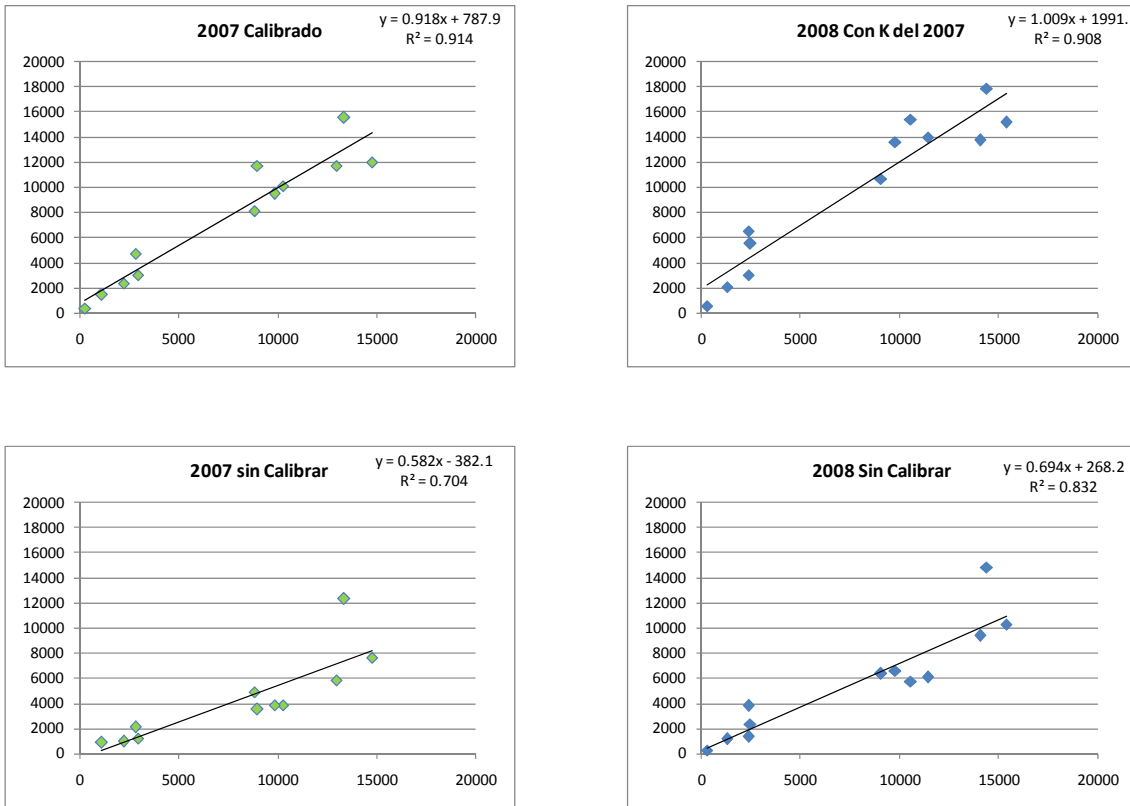
La selección de esta alternativa puede comprenderse mejor al interpretar los resultados en portales y corredores de TM presentados a continuación así como una descripción más detallada de la propuesta de calibración seleccionada.

A continuación se comparan, mediante análisis de regresión, los diferentes grados de ajustes alcanzados en el modelo original de 2007 y en el modelo final de 2008 suponiendo en ambos casos una situación con todas las k's y otra si las k's para estimar el grado de ajuste a la demanda observada en los portales (para cada año) y la observada en los corredores.

#### 3.8.3.4.3 Regresiones de portales TM

El total de demanda en portales se calcula como el total de ingresos provenientes del modo peatón (modo p) y las transferencias desde el modo alimentadores (modo a).

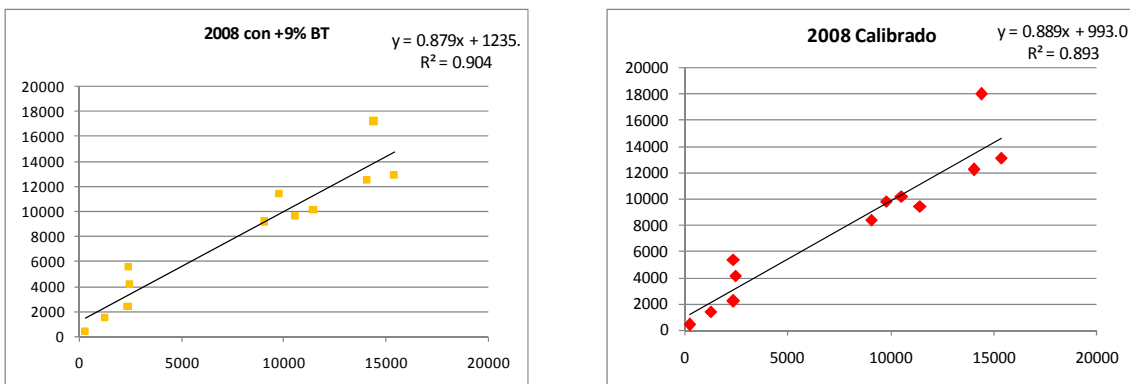
**Figura 3-91 Regresiones en portales TM con K de calibración de 2007**



Fuente: Elaboración propia

Estas comparaciones permiten ver la necesidad de aplicar los factores K para mejorar el ajuste a un nivel aceptable.

**Figura 3-92 Regresiones portales TM con K finales**



Fuente: Elaboración propia

---

La primera gráfica a la izquierda representa los resultados de la calibración preliminar, en la cual se cuenta con una notable reducción de valores K y aumento del 9% del peso del valor del tiempo de abordaje.

La gráfica en la parte derecha corresponde al modelo calibrado los valores K definitivos sin afectar el factor de embarque. Puede notarse una ligera disminución de la calibración en comparación con la calibración con factor de embarque. Sin embargo, los resultados obtenidos son adecuados y satisfactorios y se consigue una mayor homogeneidad de la red.



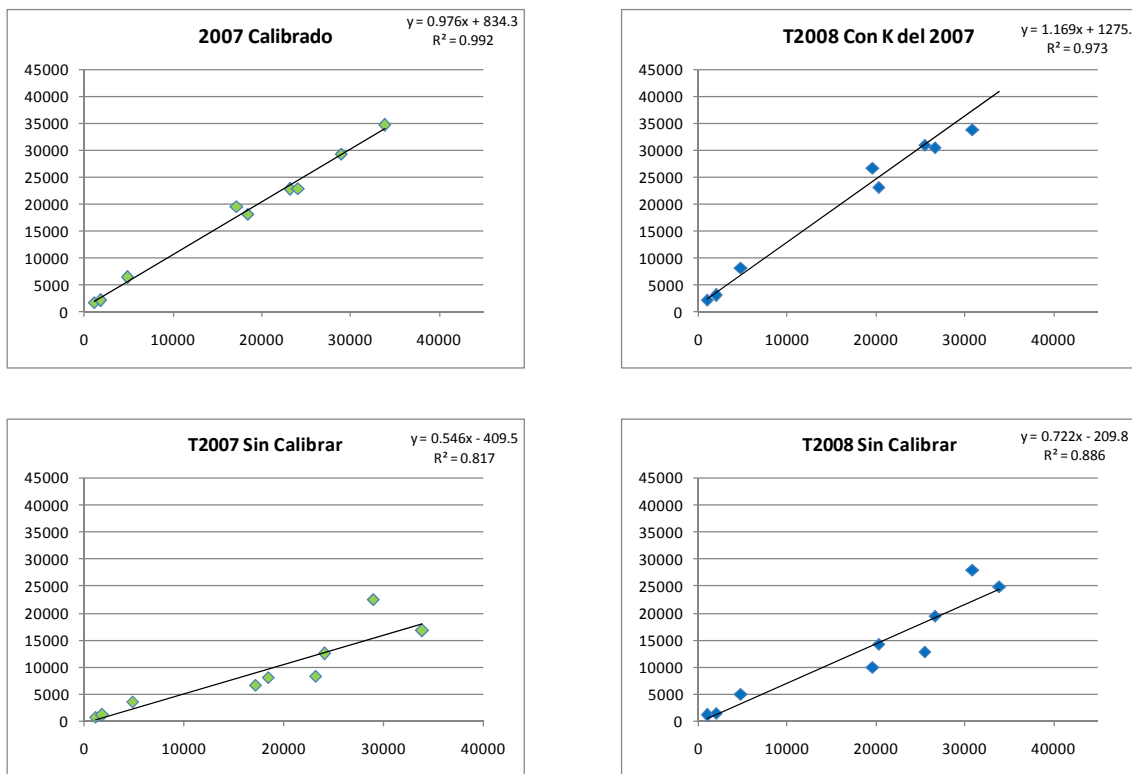
### 3.8.3.4.4 Regresiones de corredores TM

A continuación se presentan los resultados de demanda en corredores TransMilenio.

El total de demanda de corredores es la suma de la demanda de los portales y las estaciones.

La demanda en los portales se calcula como se ha descrito en el apartado anterior a este, y la demanda de las estaciones se ha simplificado como el total de ingreso a las estaciones del sistema TransMilenio, de individuos provenientes únicamente del modo peatón.

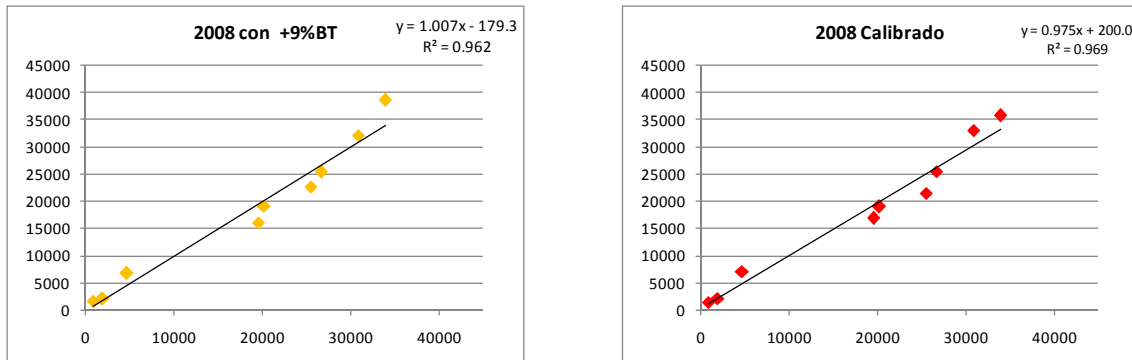
**Figura 3-93 Regresiones Corredores TM con K originales**



Fuente: Elaboración propia

El resultado en los corredores TransMilenio es similar al obtenido en los portales. La implementación de las K permite la calibración de los portales.

**Figura 3-94 Regresiones Corredores TM con K finales**



Fuente: Elaboración propia

Los efectos de usar menor número de K sobre el modelo calibrado, se ha disminuido ligeramente la calibración, a cambio de obtener el mayor control sobre el modelo ya descrito previamente.

#### 3.8.3.4.5 Conclusiones del análisis de demanda TransMilenio con la modificación de valores K

Como comentario general, se aprecia que el portal del norte y el corredor del norte son los que tienden a una ligera sobreestimación mientras que el resto de portales tiene un comportamiento más ajustado a la realidad. Asimismo, los crecimientos de la matriz total de transporte colectivo parecen responder también al comportamiento experimentado de crecimiento en las entradas de TransMilenio, lo que en principio valida el proceso de crecimiento considerado.

Finalmente, se presenta una tabla resumen con los principales resultados de ajuste, observándose un ligero 1% de sobreestimación en las entradas por corredores, mientras que las entradas en portales se encuentra al 4%. Sin embargo, la matriz de entradas total al sistema de TransMilenio presenta unos niveles similares a los observados en mediciones de la realidad en TransMilenio.

### **3.8.3.5 Verificación de resultados de TP**

Los resultados obtenidos con la calibración se presentan a continuación para TransMilenio y Corredores de transporte público colectivo. Si bien en el apartado anterior se presentaron las grandes cifras de ajuste, en este punto se trata de presentar el detalle de los ajustes en el sistema TransMilenio y ampliar el análisis al sistema colectivo en su conjunto.

Así, en el sistema de TransMilenio troncal, se muestra la demanda comparada entre 2007/2008, a nivel corredor y paradas, tabulándose los corredores y portales para su mejor comparación.

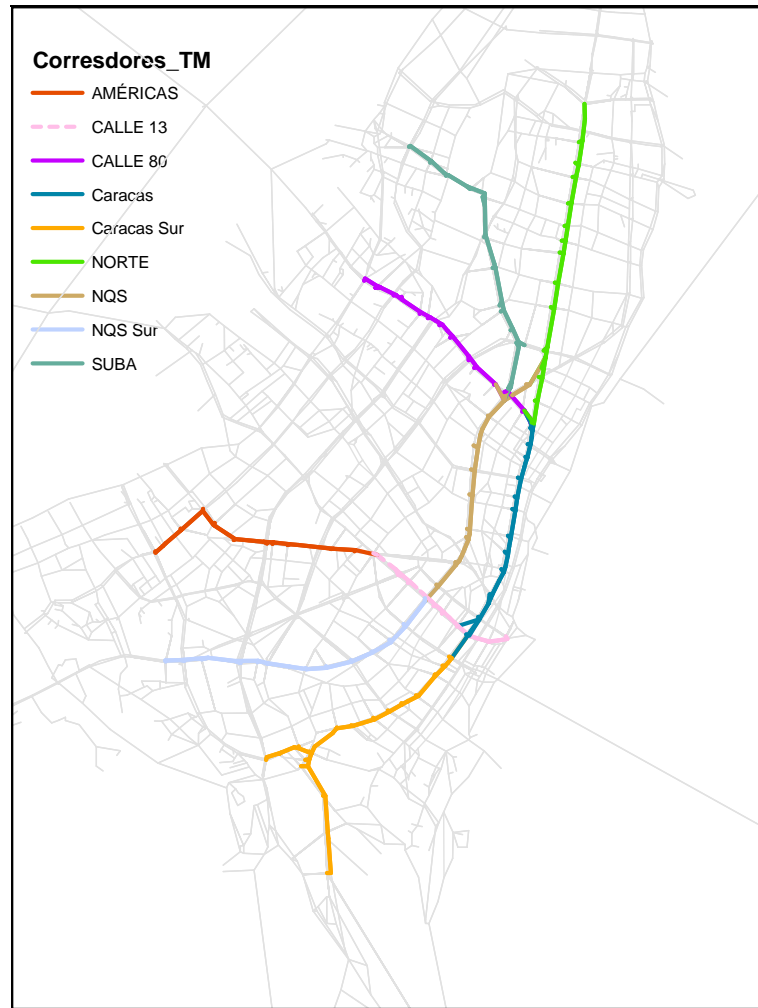
En cuanto al sistema de colectivo (no TransMilenio), se ha ajustado a los aforos observados y a las velocidades observadas en 2007. Se aprecia que, si bien el ajuste de aforos mantiene los niveles observados en el modelo 2007, para el 2008 las velocidades estimadas presentan una mayor dispersión con las observadas. Esto es debido a la disminución de los valores  $k$ , que no permiten, en consecuencia, apurar mejor los puntos de ajuste de velocidad. Sin embargo, se ha comprobado que las velocidades medias de las líneas si se mantienen similares entre ambos años.

Dada la clara correlación existente en 2008 entre velocidades observadas y estimadas, aunque dispersa, el ajuste medio de velocidades de las líneas de transporte público, la reducción o eliminación de valores  $k$  en el conjunto de la red y dado el ajuste obtenido dentro del sistema TransMilenio se puede concluir que el ajuste final es razonablemente robusto.

#### **3.8.3.5.1 Demanda en Corredores y estaciones para TransMilenio**

Los 9 corredores analizados corresponden a la siguiente imagen. Para facilitar el análisis se presenta la comparación entre los resultados del modelo calibrado al 2007 y los del calibrados al 2008.

Figura 3-95 Corredores TM analizados

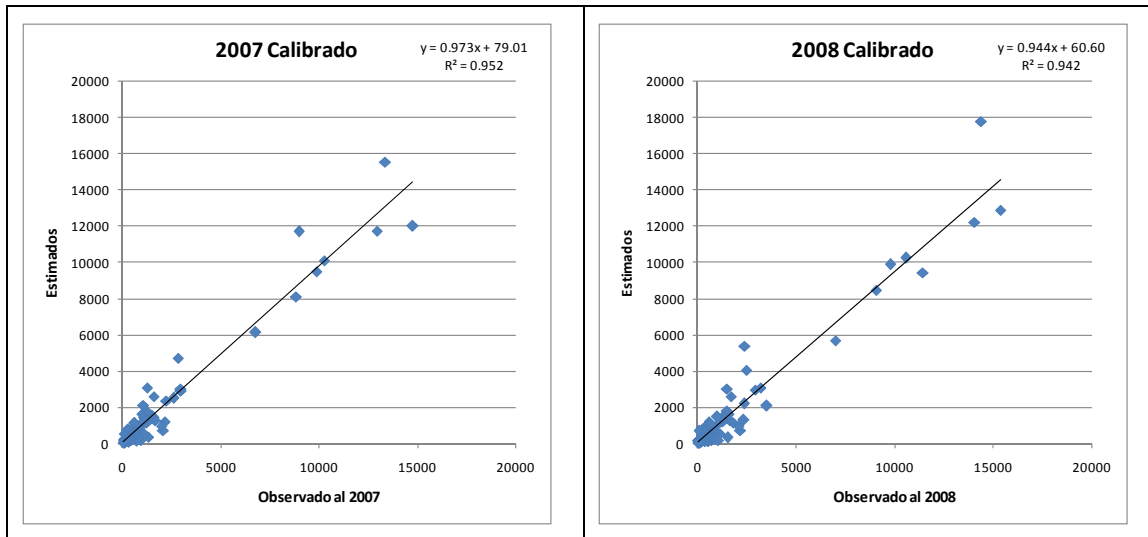


Fuente: Elaboración propia

Los valores han sido calculados para corredores, portales y estaciones TM, presentándose los siguientes resultados.

En el caso de la demanda en estaciones se ha calculado como la comparación de subidos en las estaciones de TransMilenio, proveniente de los datos registrados diariamente, suministrados por TransMilenio S.A. para el periodo en estudio.

Figura 3-96 Demanda en estaciones TM



Fuente: Elaboración propia con datos 2008

En los cuadros siguientes se comparan los resultados obtenidos con la calibración y comparados con los valores observados representados (2007o y 2008o), así como los resultados antes de la aplicación del ajuste con los valores K en cada año de análisis.

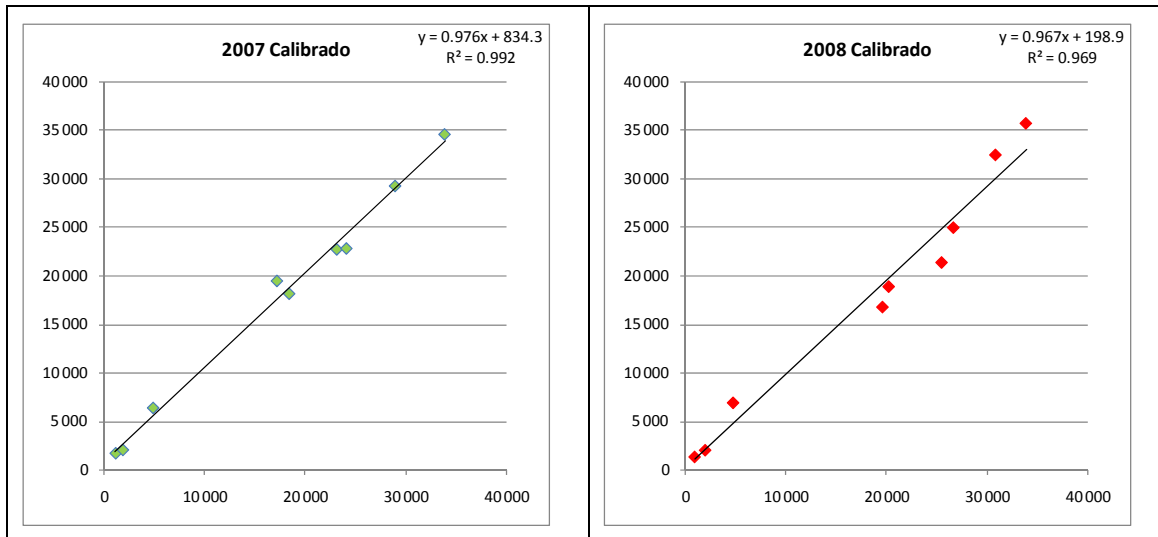
Tabla 3-44 Demanda en corredores TM

Portal	2007 Observado	2007 Calibrado	2008 Observado	2008 Calibrado	Diferencia con Ajuste 2007	Diferencia con Ajuste 2008
<b>Totales</b>	153 216	157 153	164 351	160 873	2.6%	-2.1%
<b>Américas</b>	23 116	22 728	25 498	21 418	-1.7%	-16.0%
<b>Calle 13</b>	1 091	1 692	906	1 398	55.1%	54.3%
<b>Calle 80</b>	24 074	22 823	26 665	25 007	-5.2%	-6.2%
<b>Caracas</b>	4 817	6 372	4 738	6 970	32.3%	47.1%
<b>Caracas Sur</b>	33 862	34 599	33 886	35 744	2.2%	5.5%
<b>Norte</b>	28 929	29 272	30 860	32 491	1.2%	5.3%
<b>NQS</b>	1 804	2 036	1 955	2 087	12.9%	6.8%
<b>NQS Sur</b>	17 151	19 477	19 613	16 826	13.6%	-14.2%
<b>Suba</b>	18 372	18 154	20 230	18 932	-1.2%	-6.4%

Fuente: Elaboración propia

Estos valores se representan con las regresiones presentadas a continuación.

Figura 3-97 Demanda en corredores TM



Fuente: Elaboración propia

Como ilustrado en los apartados anteriores, la disminución de K limita la capacidad de calibración del modelo, sin embargo los resultados son satisfactorios.

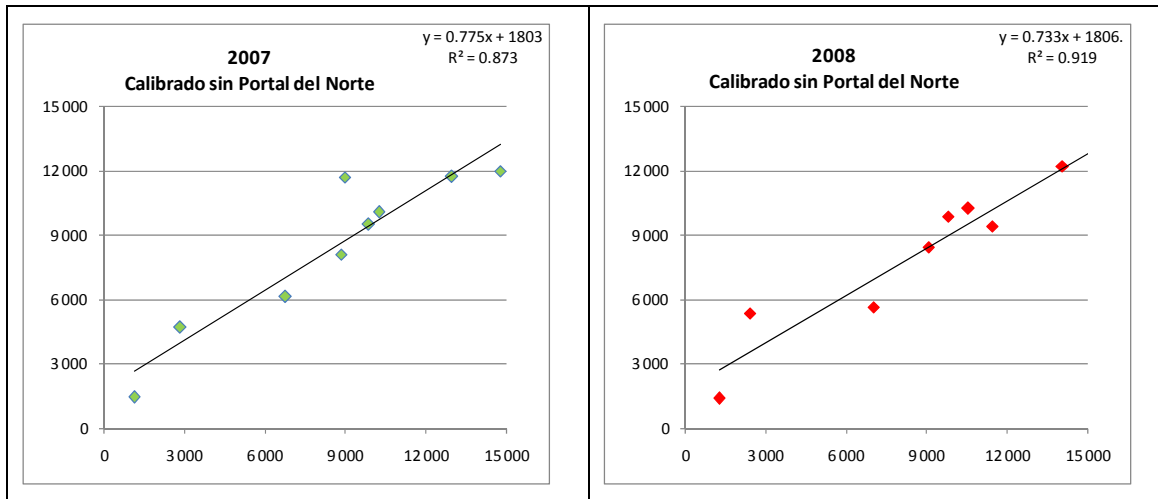
Figura 3-98 Demanda en portales TM

Portal	2007 Observado	2007 Calibrado	2008 Observado	2008 Calibrado	Diferencia con Ajuste 2007	Diferencia con Ajuste 2008
<b>Totales</b>	95 217	96 805	100 424	100 045	1.7%	-0.4%
Américas	10 254	10 087	11 435	9 436	-1.6%	-17.5%
Banderas	6 763	6 143	6 993	5 679	-9.2%	-18.8%
Calle 80	14 773	12 007	15 372	12 877	-18.7%	-16.2%
Gral Santander	1 131	1 458	1 274	1 419	28.9%	11.4%
Molinos	2 837	4 719	2 389	5 364	66.3%	124.5%
Suba	12 963	11 737	14 049	12 212	-9.5%	-13.1%
Sur	8 977	11 700	10 550	10 257	30.3%	-2.8%
Tunal	9 856	9 512	9 786	9 902	-3.5%	1.2%
Usme	8 831	8 116	9 057	8 452	-8.1%	-6.7%
<b>Norte</b>	13 361	15 566	14 392	17 795	16.5%	23.6%

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se representan en las siguientes regresiones. En la siguiente comparación se presentan los resultados para todos los portales sin incluir el portal del Norte, el cual presenta un comportamiento irregular recurrente desde la calibración del SITP 2007.

Figura 3-99 Demanda en portales TM



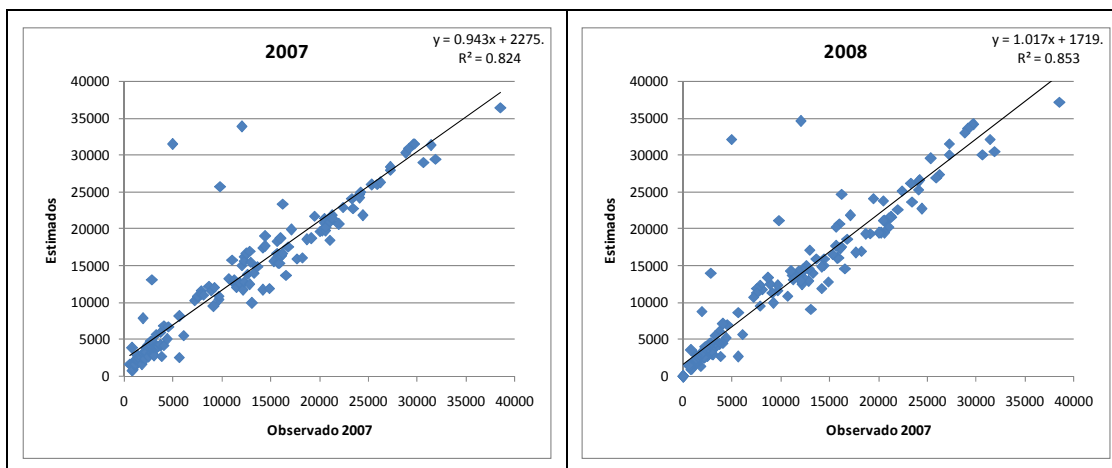
Fuente: Elaboración propia

Estas gráficas muestran una mejora en la calibración de los portales TM. Si se analizan todos los portales, se encuentra un  $R^2$  de 85% para el modelo calibrado al 2007 y un  $R^2$  de 83% para el escenario calibrado al 2008.

### 3.8.3.5.2 Volumen en Corredores de TransMilenio

Se han comparado los volúmenes en los arcos TM como la suma de volúmenes de cada línea de servicio TransMilenio de los arcos. Estos son los valores más recientes disponibles consistentes con la codificación necesaria para la validación. Se ha considerado que entre 2007 y 2008 el cambio, si lo hubiese, sería en todo caso marginal.

Figura 3-100 Volúmenes observados vs modelados en corredores TransMilenio



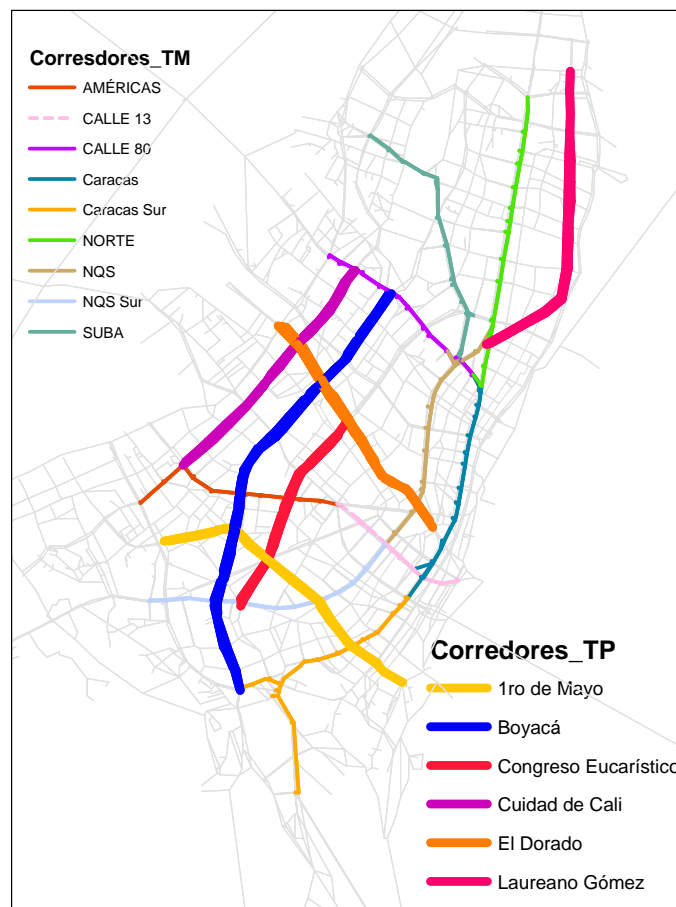
Fuente: elaboración propia con datos suministrados por TransMilenio S.A.

Los resultados obtenidos en los volúmenes de corredores se consideran entonces, adecuados para los objetivos del presente análisis.

### 3.8.3.5.3 Corredores de transporte público colectivo

Los corredores de transporte público son los indicados a continuación y corresponden a vías importantes de la ciudad o bien a los corredores de movilidad. Se han analizado dos tipos de corredores, los que cuentan actualmente con trocal TransMilenio y los que se componen solo de transporte público. En la siguiente imagen se ven representados los dos tipos de corredores.

Figura 3-101 Corredores TP analizados



Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan los análisis relacionados con transporte público.

### 3.8.3.5.4 Volumen de pasajeros en corredores de TPC

El volumen de pasajeros transportados en modo b se calcula como la suma de volúmenes en de los servicios codificados sobre los arcos de cada corredor y se presentan los siguientes resultados.

El análisis se realiza comparando con el modelo calibrado 2007 de manera de verificar las magnitudes de cargas sobre los arcos, esperadas y confirmadas en la calibración previa.



**Tabla 3-45 Volúmenes por corredores de TP**

Corredor	Tipo de corredor	2007 sin calibrar	2007 Calibrado	2008 Calibrado	Diferencia con Ajuste 2007	Diferencia con Ajuste 2008
<b>Total</b>	-	<b>105 895</b>	<b>111 133</b>	<b>103 636</b>	<b>4.9%</b>	<b>-6.7%</b>
<b>Boyacá</b>	<b>TP</b>	<b>25 911</b>	<b>27 147</b>	<b>24 712</b>	<b>4.8%</b>	<b>-9.0%</b>
<b>Congreso Eucarístico</b>	<b>TP</b>	<b>11 039</b>	<b>11 447</b>	<b>11 421</b>	<b>3.7%</b>	<b>-0.2%</b>
<b>Ciudad de Cali</b>	<b>TP</b>	<b>12 813</b>	<b>13 303</b>	<b>13 752</b>	<b>3.8%</b>	<b>3.4%</b>
<b>Laureano Gómez</b>	<b>TP</b>	<b>6 752</b>	<b>6 707</b>	<b>6 243</b>	<b>-0.7%</b>	<b>-6.9%</b>
<b>El Dorado</b>	<b>TP</b>	<b>11 963</b>	<b>11 822</b>	<b>12 762</b>	<b>-1.2%</b>	<b>8.0%</b>
<b>1ro de Mayo</b>	<b>TP</b>	<b>23 106</b>	<b>23 421</b>	<b>21 753</b>	<b>1.4%</b>	<b>-7.1%</b>
Américas	Paralelo TM	2 117	3 322	2 294	56.9%	-30.9%
Calle 13	Paralelo TM	905	1 100	950	21.5%	-13.6%
Calle 80	Paralelo TM	696	785	673	12.8%	-14.3%
Caracas	Paralelo TM	1 781	1 824	1 814	2.4%	-0.5%
Caracas Sur	Paralelo TM	330	808	351	144.8%	-56.6%
Norte	Paralelo TM	4 586	5 658	3 288	23.4%	-41.9%
NQS	Paralelo TM	3 274	3 066	3 313	-6.4%	8.1%
NQS Sur	Paralelo TM	469	491	517	4.7%	5.3%
Suba	Paralelo TM	153	232	108	51.6%	-53.4%

Fuente: Elaboración propia

Puede verse en esta tabla, que los corredores con mayor sensibilidad a la presencia de K son aquellos paralelos a las troncales TM. Esto se debe a que representan cada una opción paralela a la siguiente, y que puede resultar más ventajosa según la congestión en la red vial.

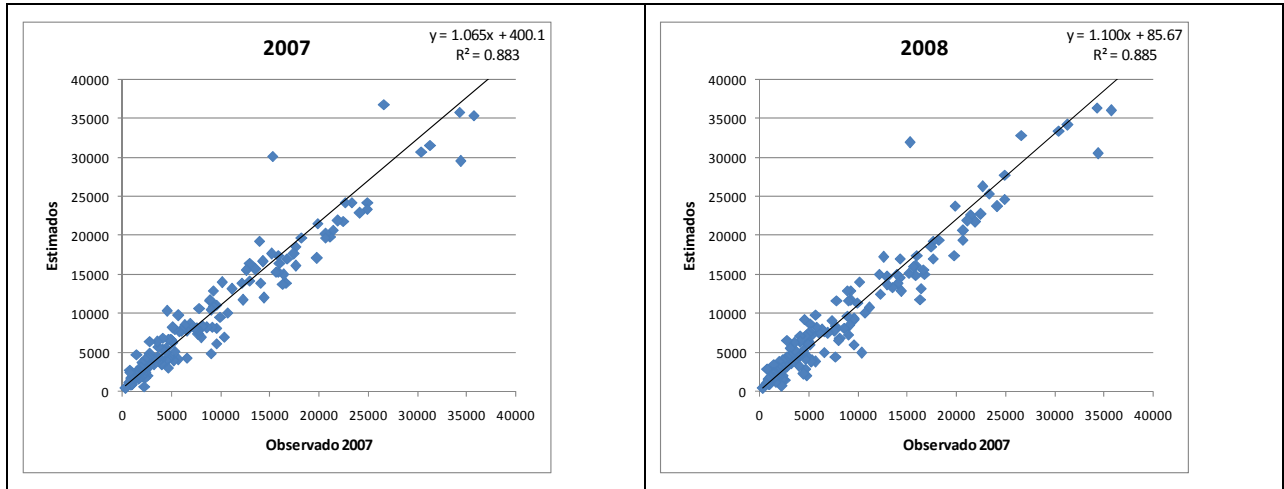
Es importante mencionar que el transporte público colectivo resulta actualmente competitivo a TM debido a su mayor cobertura y a la alta oferta de servicio, pero que la misma se ve directamente afectada por la congestión de las vías.

En el caso de los corredores que no son paralelos a TM, estos representan la opción predominante, por lo cual son menos sensibles a cambios en la congestión.

### 3.8.3.5.5 Volumen de pasajeros de TPC observados y modelados

Al igual que en el análisis anterior, el volumen de pasajeros en un arco es la suma de volúmenes de los servicios de TPC que los atraviesan. Estos totales se han comparado con los valores observados al 2007, de manera de obtener un análisis más completo y debido a la casi inexistente diferencia temporal de los dos datos (un año de diferencia).

Figura 3-102 Volúmenes de pasajeros/hora en TP

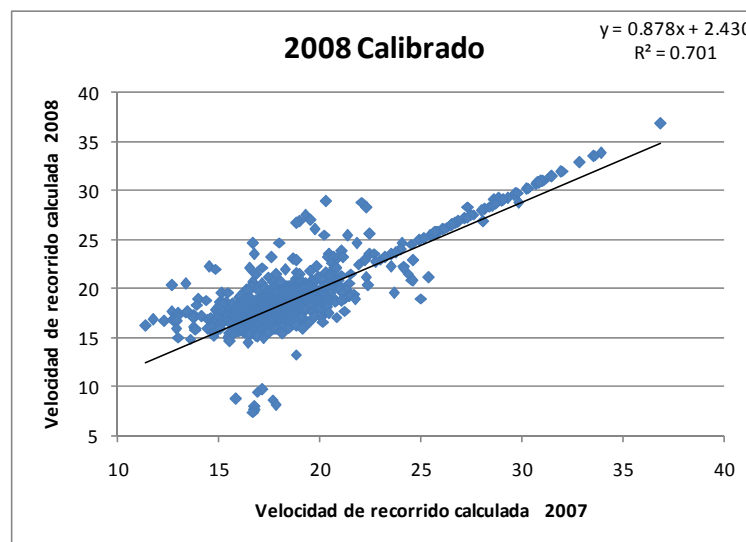


Fuente: Elaboración propia con datos 2007

En el caso de los volúmenes por corredor de transporte público colectivo puede verse que no se han registrado cambios importantes en los resultados obtenidos en la calibración del 2007, pasando de un  $R^2$  de 88% en el calibrado del 2007 a un  $R^2$  89%.

### 3.8.3.5.6 Verificación de Velocidad de transporte público

Debido a la disminución de valores K, los resultados de velocidad en arcos con valores observados han presentado una variación menos favorable que la identificada en 2007, por otra parte, se considera más representativa la comparación de las velocidades de las líneas de transporte público. Se presenta a continuación como algunas líneas han variado su velocidad en cuanto al modelo calibrado al 2007.



Fuente: Elaboración propia

El proceso de calibración ha generado una ligera pérdida en la relación entre las velocidades calculadas y observadas, esto se debe a la disminución de K. Sin embargo el resultado se considera adecuado para los objetivos del presente estudio.

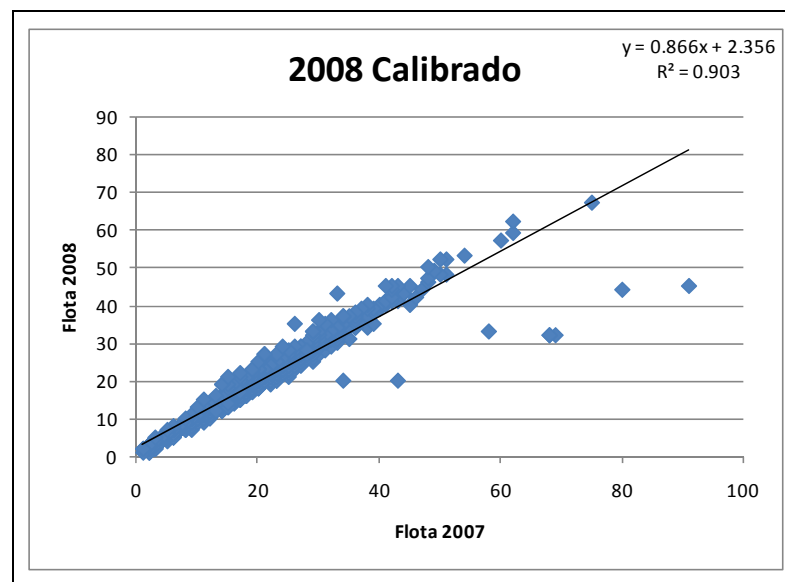
### 3.8.3.5.7 Verificación de la flota

Con el fin de verificar que la calibración resultante no modifica configuración del transporte público se han comparado los vehículos calculados por el modelo, necesarios para realizar los servicios entre los dos escenarios calibrados 2007 y 2008.

Es importante recordar que este valor es indicativo de la velocidad de los autobuses, a medida que para una misma frecuencia de servicio, se requieren más autobuses para hacer el recorrido si la velocidad es más baja.

A continuación se presenta la regresión entre los valores calculados sin considerar el 0,59% de los registros.

Figura 3-103 Comparación de flotas entre 2007 y 2008



Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en la gráfica, se ha obtenido un  $R^2$  de 90,3% con la calibración del año 2007. Se pueden identificar algunos valores cuya correlación puede ser objeto de un análisis más detallado. Los resultados en general son satisfactorios y adecuados para los objetivos del presente estudio.

### 3.8.3.5.8 Totales de viajes realizados a pie

Como modo de verificación se ha analizado el total de viajes realizados a pie como la diferencia de la matriz total de demanda de transporte público y la demanda asignada en cada modo. Esto ha permitido verificar en la proporción de viajes se mantiene alrededor de un esperado 3%.

**Tabla 3-46 Totales de viajes a pié de cada modelo calibrado**

Año	a pie	total	relación
2008 Calibrado	20120.94	667320.2	3.02%
2007 Calibrado	19162.74	658730.8	2.91%

Fuente: Elaboración propia

Esto verifica que los cambios propuestos al modelo para obtener la calibración del 2008 son coherentes con los resultados esperados.

### 3.8.3.5.9 Comparación de Coste Generalizado

Para finalizar la calibración del modelo de TP se ha realizado un análisis de variación de los costes generalizados entre el 2007 y el 2008.

**Tabla 3-47 Totales de viajes en transporte colectivo y Tiempo generalizado**

Estrato	2008		2007	
	Viajes TC	Tiempo Generalizado Medio por viaje (minutos)	Viajes TC	Tiempo Generalizado Medio por viaje (minutos)
1	39.020	116	37.866	112
2	235.204	87	231.587	83
3	294.654	72	292.329	69
4-5-6	98.441	52	96.949	50
<b>Total</b>	<b>667.320</b>	<b>77</b>	<b>658.730</b>	<b>74</b>

Fuente: Elaboración propia

En estos cambios se aprecia que la variación de las funciones de velocidad de Transporte Público ha supuesto una variación de 3 minutos en el tiempo generalizado, lo que implica un crecimiento del 4%, siendo los estratos con menor nivel de renta los que mayor incremento en absoluto han experimentado.

### 3.8.3.5.10 Total de abordajes en el sistema

Se ha calculado el total de abordaje para los dos modelos calibrados al 2007. Los resultados verifican la bondad de ambos modelos calibrados.

**Tabla 3-48 Total de abordajes por modo**

<b>Modo</b>	<b>2007 Calibrado</b>	<b>2008 Calibrado</b>
Alimentador	91 536.00	93 567.00
T. Público	489 095.00	494 522.00
Interurbanos	53 935.00	55 728.00
TransMilenio	200 486.00	204 660.00
<b>Total</b>	<b>835 052.00</b>	<b>849 917.00</b>

Fuente: *Elaboración propia*

Como puede observarse, se presenta un ligero aumento en los valores totales de demanda, lo cual es coherente con los aumentos registrados en total de población del área en estudio.

### **3.9 CONCLUSIONES SOBRE LA CALIBRACIÓN DEL MODELO 2008**

Con lo presentado en los apartados anteriores, se puede indicar los siguientes elementos característicos de la calibración realizada:

- Desde un punto de vista técnico, se ha seguido un proceso que, mediante la simplificación de la red viaria en niveles jerárquicos y en un establecimiento de una precarga de camiones más continua y ajustada a aforos, se pudiese obtener un buen ajuste de los aforos (fácil de conseguir por la herramienta demadj de EMME) y una modelización adecuada de tiempos de tránsito en los arcos que conforman la red de transporte privado en Bogotá (lograda mediante una redefinición y calibración de las funciones de demora-capacidad en los diferentes niveles jerárquicos de la red). Así, se han logrado redefinir unos tiempos más ajustados a la realidad observada de las evidencias de transporte público colectivo.
- Esta mejor adecuación ha permitido que con una ligera pérdida de los niveles de ajustes ya alcanzados en el modelo SITP 2007 para transporte público se pudiera simplificar las funciones de velocidad de los arcos que comparten tráfico mixto público-privado.
- Desde un punto de vista funcional, el proceso ha logrado trasladar en mayor o menor medida el control del ajuste del modelo desde atributos en arcos (velocidad libre para privado y k's para público) a las funciones de velocidad, lo que en general es más robusto, pues con menores cambios permite reajustar el modelo en situaciones futuras.
- Desde un punto de vista del grado de fiabilidad del modelo para aplicar una estimación de metro se considera que el modelo calibrado cubre con el suficiente grado de ajuste las principales variables que van a permitir, en un primer paso, calibrar y definir las matrices futuras y, en un segundo nivel, definir la captación del metro en un entorno de integración de tarifas (SITP), objetivo fundamental de esta calibración.
- Los resultados en general indican que el modelo ha sido mejorado, sin embargo, la calibración del 2007 se ha presentado robusta y muy ajustada a la realidad de la movilidad de Bogotá.

## 4 GLOSARIO

<b>BRT</b>	Transporte Rápido en Buses - Bus Rapid Transit. Plataforma de uso exclusivo para este tipo de vehículos.
<b>Coeficiente R2</b>	Coeficiente de ajuste de la regresión
<b>D.C.</b>	Distrito Capital de Bogotá
<b>DANE</b>	Departamento Nacional de Estadística de Colombia
<b>DNP</b>	Departamento Nacional de Planeación
<b>EDM 05</b>	Encuesta de Movilidad realizada por el DANE en el año 2005
<b>FONDATT – STT</b>	Secretaría de Tránsito y Transporte
<b>GC</b>	Grupo Consultor
<b>GEH</b>	Índice de comprobación de ajuste de matrices
<b>IDU</b>	Instituto de Desarrollo Urbano. Establecimiento público descentralizado, con personería jurídica, patrimonio propio, autonomía administrativa. Su misión es la ejecución de obras viales y de espacio público para el desarrollo urbano de Bogotá D.C.
<b>IMAT</b>	Estaciones de intercambio entre el Transporte Privado y el Transporte Público
<b>IMCOM</b>	Estaciones de Intercambio Modal -Entre sistema complementario y masivo y modos no motorizados-
<b>IMIT</b>	Estaciones de Intercambio de Ruta entre T. Interurbano y el componente flexible o transporte público
<b>IPC</b>	Índice de Precios al Consumidor. Mide la evolución del conjunto de precios de los bienes y servicios que consume la población residente.
<b>ISS</b>	Instituto de Seguros Sociales Empresa estatal, con personería jurídica, autonomía administrativa y capital independiente, vinculada al Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Principal actor en el campo de la Seguridad Social en Colombia.

---

<b>JICA</b>	Japan International Cooperation Agency. Agencia Japonesa para el Desarrollo Internacional. Realizó entre 2000 y 2003 un estudio para el Gobierno de la República de Colombia solicitado por la empresa de Acueducto, Agua y Alcantarillado tanto para Bogotá como para la Sabana de Bogotá.
<b>OD</b>	Origen - Destino
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>PLM</b>	Primera Línea de Metro
<b>PMM</b>	Plan Maestro de Movilidad. Año 2006, elaborado a partir de la EDM 05
<b>PMT</b>	Plan de Manejo del Tránsito. Implementado por la Secretaría de Movilidad y Transporte de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
<b>POT</b>	Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. Año 2005
<b>SDM</b>	Secretaría de Movilidad de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
<b>SDP</b>	Secretaría Distrital de Planeación de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
<b>SITM</b>	Sistema Integrado de Transporte Masivo
<b>SITP</b>	Sistema Integrado de Transporte Público para la ciudad de Bogotá
<b>STT</b>	Secretaría de Tránsito y Transporte - Hoy SDM
<b>STU</b>	Sistema de Transporte Urbano
<b>TM</b>	TransMilenio
<b>TMB</b>	Transporte Metropolitano de Barcelona
<b>ToR</b>	Términos de Referencia
<b>TPC</b>	Transporte público colectivo
<b>UPZ</b>	Unidades de Planeamiento Zonal

---