

Análisis de la modelación de la distribución de viajes para diferentes categorías socioeconómicas en el Valle de Aburrá

Analysis of trip distribution modeling for different socio-economic categories at the Valle de Aburrá

*Carlos Alberto González-Calderón*¹, Iván Sarmiento Ordosgoitia²*

¹ Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Calle 67 N° 53-108. Bloque 20. Oficina 439. Medellín, Colombia.

² Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Calle 65 N°. 78-28 Bl.M1. Medellín, Colombia.

(Recibido el 15 de julio de 2010. Aceptado el 6 de septiembre de 2012)

Resumen

En este artículo se realiza el análisis del modelo de distribución de viajes por categorías socioeconómicas para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá para el año 2005 con el software TransCAD, utilizando el modelo gravitatorio. Este modelo determina los viajes que se dan entre una y otra zona de acuerdo con la generación y la atracción de viajes existentes entre dichas zonas y una función de impedancia que depende del tiempo de viaje entre zonas. Se analizó el modelo para el período pico de la mañana y de la tarde y para los motivos estudio, trabajo y otros, encontrándose que la función de impedancia que mejor se adapta a los modelos para las diferentes categorías socio-económicas es la de tipo exponencial negativa.

----- *Palabras clave:* Modelación, distribución de viajes, categorías socioeconómicas

Abstract

This paper is about the analysis of trip distribution modeling for different socioeconomic categories at the Metropolitan Area of the Valle de Aburrá for the year 2005. The gravity model was applied using the software TransCAD. This model determines the trips between two zones in accordance with the generation and attraction of trips between related zones and an impedance

* Autor de correspondencia: teléfono: 57 + 4 + 2195570, fax: 57 + 4 + 2195514, correo electrónico: gonzalez@udea.edu.co (C. González)

function that depends on the travel time-cost between zones. The model was analyzed for different AM and PM peak hour periods and for different purposes: study, work and other, finding that the negative exponential is the impedance function which adapts best to the models for the different socio-economic categories.

----- **Keywords:** Modeling, trip distribution, socio-economic categories

introducción

La modelación de la demanda de viajes es un proceso fundamental en el proceso de planificación de ciudad. El primer paso en la modelación de la demanda de viajes es el modelo de generación y atracción de viajes que busca explicar los viajes producidos y atraídos con base en variables socioeconómicas de la población. El paso siguiente es distribuir los viajes de acuerdo con un criterio determinado que suele consistir en un modelo matemático (por lo general modelo gravitatorio) calibrado para replicar la distribución de viajes según sus impedancias (costos) y que permitan determinar las matrices Origen-Destino del futuro a partir del año base; luego sigue el reparto de viajes a través de ellos, que serán función de características como comodidad, nivel de servicio, costo, tiempo de viaje, etc. y por último está la asignación de viajes en la red vial, valiéndose de modelos matemáticos iterativos como “todo o nada”, o “camino mínimo”, con procesos estocásticos.

En este artículo se trabaja más a fondo la distribución de viajes, que es el proceso mediante el cual se determinan las zonas de origen de los viajes relacionados con un destino, y los destinos de los viajes generados en un origen dado. La distribución de viajes explica hacia qué zonas se dirigen los viajes producidos en cada zona y el objetivo de esta etapa de la modelación es sintetizar los enlaces de viajes entre orígenes y destinos, es decir, determinar cómo estos viajes se van a distribuir entre las diferentes zonas. Para esto es necesario la distribución actual de viajes que se puede obtener por medio de encuestas origen destino (O/D) y así obtener las matrices

O/D para años futuros [1]. Una vez conocida la matriz del año base, el problema principal radica en la utilización de esta matriz, para un año futuro de planeamiento cuyos viajes P_i (viajes producidos en la zona i) y A_j (viajes atraídos por la zona j) son conocidos, como se muestra en la ecuación (1, 2) respectivamente, donde T_{ij} son los viajes de la zona i a la zona j . Por lo tanto, de lo que se trata es de llenar la matriz cuyos elementos deben cumplir:

$$P_i = \sum_{j=1}^n T_{i,j} \quad (1)$$

$$A_j = \sum_{i=1}^n T_{i,j} \quad (2)$$

En general, todos los modelos se basan en el hecho de que el número de viajes entre zonas aumenta con el incremento de atracciones de dichos viajes, y se disminuye con el aumento de la resistencia dada entre ellos [2]. Este artículo muestra el proceso de distribución de viajes por categorías para el Valle de Aburrá explicando el proceso mencionado anteriormente.

El artículo está dividido en tres secciones. La segunda sección muestra el proceso de la modelación de la distribución de viajes por categorías socioeconómicas en el Valle de Aburrá explicando cómo se clasificó la información y la calibración y evaluación de los modelos con sus respectivos análisis, y finalmente en la última sección se presentan los principales resultados y conclusiones del estudio.

Modelación de la distribución de viajes por categorías socioeconómicas en el Valle de Aburrá

Un modelo de distribución de viajes trata de estimar el número de viajes en cada celda de la matriz, según la información disponible. El proceso de modelación de la distribución de viajes, es decir, el proceso que define cómo se van a distribuir los viajes de cada origen a cada destino de acuerdo a la impedancia (costo) que existe entre estas zonas, puede realizarse de varias maneras: por períodos y propósitos, por categorías socioeconómicas, por viajes motorizados, o combinaciones de ellos, entre otros. Esto depende de la necesidad de precisión que se tenga para el estudio y su objetivo. En este estudio se hace la modelación de la distribución de viajes teniendo en cuenta todas las características anteriores.

Para desarrollar la modelación de la distribución zonal de viajes en una ciudad sin más información que la que se tiene para el año base en la encuesta origen destino, se deben realizar los siguientes pasos teniendo previamente la información de la encuesta ya depurada, expandida y organizada [3].

- Clasificación de la información
- Calibración del modelo
- Evaluación del modelo

Clasificación de la información

Definición del área de estudio

El área de estudio está dada por el Área Metropolitana del Valle del Aburrá que comprende 10 municipios en Antioquia: Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa y las subregiones vecinas. El Valle de Aburrá cuenta con una extensión total 184 km² de área urbana y 965 km² de área rural, donde se asientan aproximadamente 3.317.000 habitantes [4].

Definición de la zonificación

Se definió una zonificación para el Valle de Aburrá interna que abarca 409 zonas compatibles con las zonas SIT de la Encuesta Origen Destino para hogares (EOD-H 2005) y la zonificación externa que abarca 10 zonas. Sumando las zonas internas y externas la zonificación a utilizar en el estudio comprende 419 zonas [4]. La figura 1 muestra la zonificación mencionada.

Definición de períodos de modelación

Para la modelación de la distribución de viajes en el Valle de Aburrá se definió el horario en las horas pico de la mañana y de la tarde ya que en estos períodos se presentan las horas más críticas del día en términos de congestión vial. Del estudio realizado se puede inferir que los períodos pico representativos más críticos del día (aproximadamente el 40% de los viajes del día), los cuales se modelaron son: Pico Mañana: de 6:00 a 8:00 hrs. y Pico Tarde: de 17:00 a 19:00 hrs. [4]

Definición de propósitos de viajes

Los propósitos más habituales de viajes en el Valle de Aburrá son: *Trabajo, Estudio y Otros* y serán por lo tanto los considerados en el estudio. El propósito de viaje *Otros* incluye todos aquellos viajes que no sean por motivo trabajo o estudio; es decir, de compras, por trámites, recreacionales, de salud, etc. [4]

Tipología de viajes por propósito

Una forma frecuente de tipificar los viajes para efectos de sus análisis es el lugar donde se inician y donde se terminan; de esta manera se definen los viajes Basados en el Hogar como aquellos que el inicio o el término de viaje se da en el hogar, denominándose como Basados en el Hogar de Ida (BHI) los primeros o Basados en el Hogar de Retorno (BHR), los segundos. Los viajes cuyo origen o destino no es el hogar se denominan viajes no Basados en el Hogar (NBH).

- En el período pico de la mañana se modelaron sólo los BHI para el propósito estudio, trabajo y otros ya que representan el 97% de los viajes del período.
- En el período pico de la tarde se modelaron sólo los viajes HBR al propósito Otros,
- en donde está el regreso a casa desde el estudio, trabajo y otros, ya que representan aproximadamente el 88% de los viajes del período.
- El resto de los viajes se incorpora mediante un ajuste a la matriz modelada.

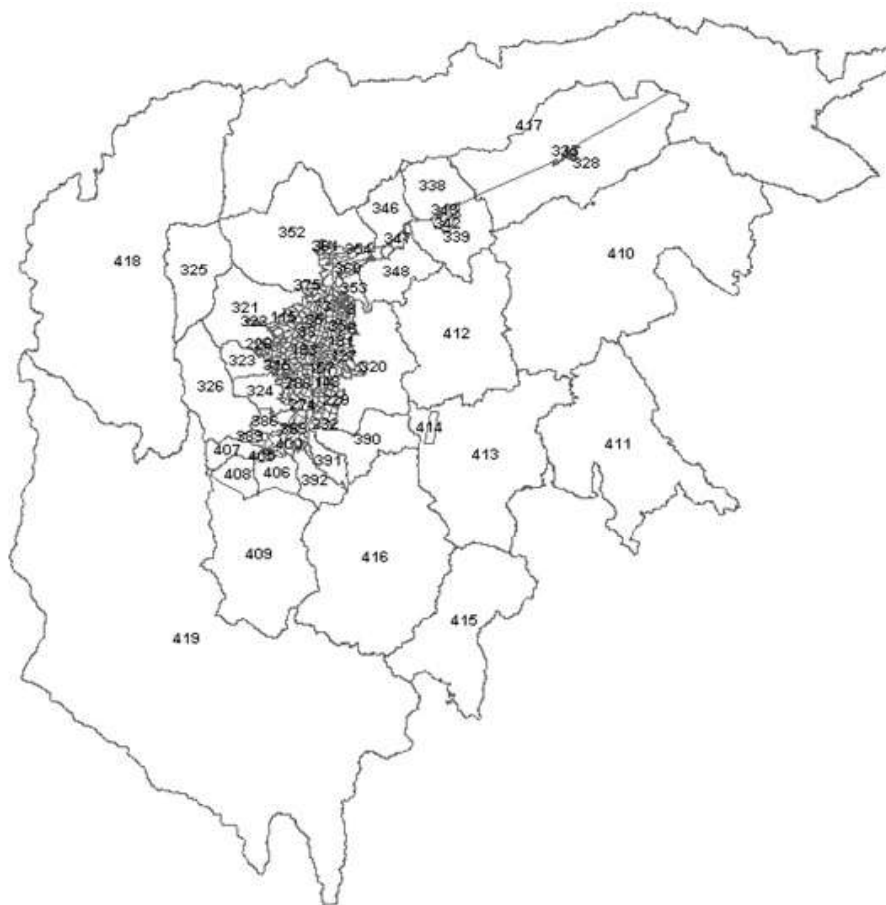


Figura 1 Zonificación para el Valle de Aburrá

Categorías socio-económicas

Los estratos socioeconómicos son una herramienta que utiliza el Estado Colombiano [5] para clasificar los inmuebles residenciales de acuerdo con los lineamientos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, el cual tiene en cuenta el nivel de pobreza de los propietarios, la dotación de servicios públicos domiciliarios, la ubicación (urbana, rural), asentamientos indígenas, entre otros. Legalmente

existen seis estratos socioeconómicos: el estrato más bajo es 1 y el más alto es 6 [5]. De acuerdo al Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE en la encuesta de Calidad de Vida de 2003 citado en el documento CONPES 3386 [6] el porcentaje es: Estrato 1 (bajo-bajo) = 22.3%, Estrato 2 (bajo) = 41.2%, Estrato 3 (medio-bajo) = 27.1%, Estrato 4 (medio) = 6.3%, Estrato 5 (medio-alto) = 1.9%, y Estrato 6 (alto) = 1.2%. La clasificación por estratos que

obtenga una persona determina los impuestos que debe pagar, las tarifas de los servicios públicos domiciliarios, el acceso a los servicios de salud, las matrículas a pagar en las universidades estatales, entre otros. Los estratos 1 y 2 y algunas veces el 3 son subsidiados por los estratos 4, 5 y 6 y obtienen varios beneficios del estado, sobre

todo en el tema de salud, tarifas de servicios públicos, masificación del uso de los servicios públicos domiciliarios, fondos de solidaridad e inversión social [5]. Para este estudio se tuvo en cuenta la distribución de hogares por estrato del Valle de Aburrá [4], los cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1 Hogares por estrato socioeconómico situación base 2005

Nombre Zona	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Total Hogares
Medellín Nororiental	17.697	92.291	28.859	0	0	0	138.847
Medellín Noroccidente	5.111	37.517	69.352	16.185	363	37	128.565
Medellín Centro Oriente	12.510	22.297	42.713	13.995	428	355	92.298
Medellín Centro Occidente	11.763	14.024	15.967	24.587	32.820	148	99.309
Medellín Sur Oriente	0	191	435	1404	9.162	21.127	32.319
Medellín Sur Occidente	311	13.233	34.951	20.844	6.435	0	75.774
Medellín Corregimental 1	517	1.258	492	0	0	0	2.267
Medellín Corregimental 2	2.461	16.012	8.792	110	0	0	27.375
Barbosa	1252	7.140	1.457	37	0	0	9.886
Girardota	26	7.603	1.906	0	0	0	9.535
Copacabana	340	8.043	5.393	37	26	0	13.839
Bello	11.851	35.287	33.903	3.409	0	0	84.450
Itagui	1.370	20.739	34.941	597	23	0	57.670
Envigado	663	6.658	21.361	8.116	5.138	794	42.730
Sabaneta	5	3.999	7.201	279	7	4	11.495
La Estrella	441	5.457	6.050	115	0	0	12.063
Caldas	504	16.260	3.398	44	20	0	20.226
Total General	66.822	308.009	317.171	89.759	54.422	22.465	858.648

Teniendo en cuenta la clasificación hecha por el Gobierno Nacional sobre los estratos socioeconómicos [5] y la distribución de hogares por estrato del Valle de Aburrá, se eligieron las categorías socioeconómicas presentadas en la tabla 2, las cuales están basadas en el estrato socioeconómico de los encuestados, en donde se unieron los

estratos que compartieran más características y donde la población tuviera comportamientos afines de movilización, dependiendo del número de autos por familia.

La tabla 3 presenta los viajes por período y propósito para las seis categorías estudiadas.

Tabla 2 Categorías socioeconómicas del estudio

<i>Categorías distribución</i>	<i>Estrato</i>	<i>Número autos</i>
Categoría 1	1,2	0 autos
Categoría 2	1,2	1 ó más autos
Categoría 3	3,4	0 autos
Categoría 4	3,4	1 ó más autos
Categoría 5	5,6	0 autos
Categoría 6	5,6	1 ó más autos

Tabla 3 Viajes por categoría, período y propósito

<i>Propósito</i>	<i>Período</i>	<i>Viajes diarios</i>						<i>TOTAL</i>
		<i>Cat. 1</i>	<i>Cat. 2</i>	<i>Cat. 3</i>	<i>Cat. 4</i>	<i>Cat. 5</i>	<i>Cat. 6</i>	
BHW		19.8310	10.123	155.057	32.171	41.135	58.809	495.605
BHE	AM	14.3137	7.341	93.324	22.825	26.469	42.199	335.295
BHO		43.187	2.041	34.472	7.897	10.119	27.856	125.572
TOTAL		384.634	19.505	282.853	62.893	77.723	128.864	956.472
BHW		172.327	9.658	131.209	30.701	31.230	57.786	432.911
BHE	PM	70.218	13.091	54.079	13.999	26.047	28.260	205.694
BHO		36.906	20.143	36.214	55.672	52.131	53.587	254.653
TOTAL		279.451	42.892	221.502	100.372	109.408	139.633	893.258

El resto de viajes de cada período requiere de otro tipo de modelos de tipo lineal relacionado con variables de atracción de las zonas y que están fuera del objeto de este estudio.

Red vial actual

La red vial actual mostrada en la figura 2 [4] incluye la numeración de zonas y nodos considerando una codificación que distinga entre municipios y otros criterios espaciales que permitan su fácil comprensión, incluye además el tiempo a flujo libre y tiempo a capacidad para cada arco que corresponde a los resultados obtenidos directamente del terreno [4].

Esta red vial principal define los caminos y rutas por los cuales se puede acceder a cada una de las zonas en las que se ha dividido el área de estudio, y debe ser complementada con enlaces entre ésta y el centro de las zonas (centroide), de forma que se cumplan los requisitos del software de modelación (TransCAD) que facilitan la aplicación de los diferentes modelos de transporte [3].

Calibración del modelo de distribución de viajes en el área de estudio por categorías, períodos y motivos.

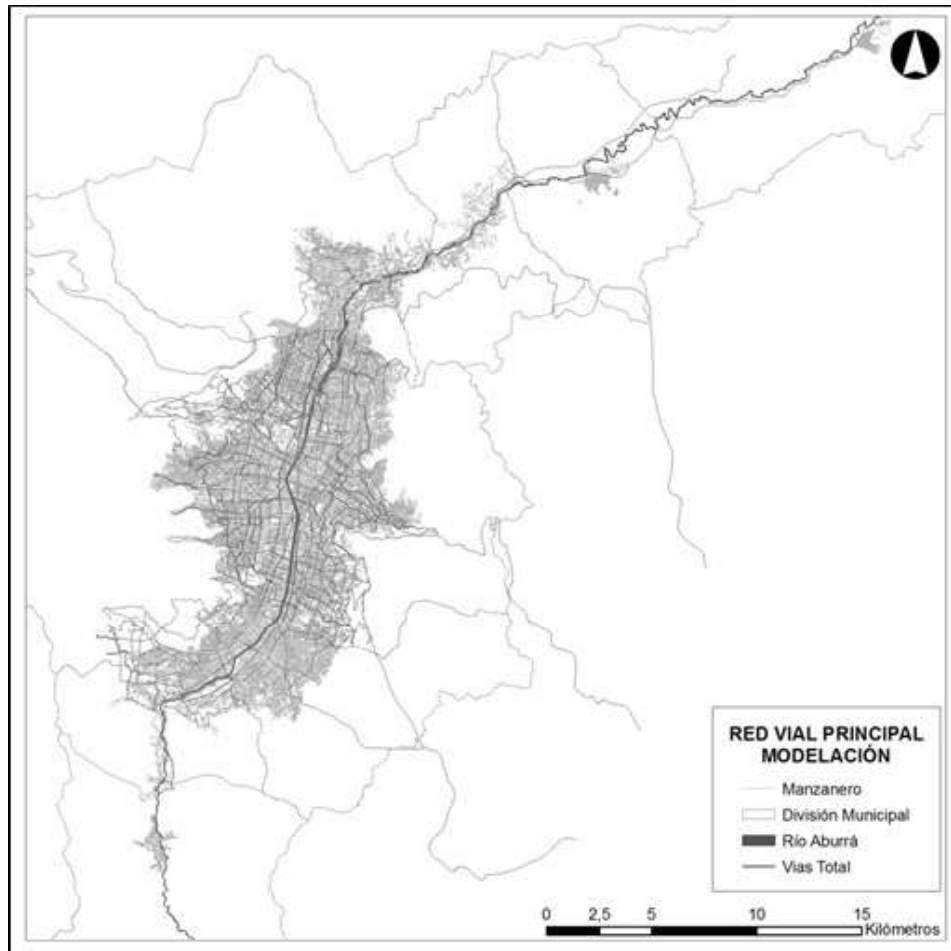


Figura 2 Representación de la red vial para la modelación

Modelo gravitatorio

El modelo gravitatorio es el más usado para modelar la distribución de viajes y supone que el número de viajes entre una zona i y un destino j es proporcional al número de viajes generados en la zona i , al número de viajes atraídos por la zona j y a una función de impedancia o de costos relativa a las zonas. Esta función de costos está relacionada con variables tales como: el tiempo de viaje, la distancia, el costo de viaje, etc. [7]

El modelo gravitatorio está representado mediante la ecuación (3):

$$V_{ij} = kP_iA_jf(c_{ij}) = \frac{P_iA_jf(c_{ij})}{\sum A_jf(c_{ij})} \quad (3)$$

Donde

- V_{ij} : Viajes entre un origen i y un destino j
- P_i : Total de viajes producidos en el origen i
- A_j : Total de viajes atraídos en el destino j
- $f(c_{ij})$: Factor de fricción del viaje entre i y j
- k es una constante de proporcionalidad

Las funciones de impedancia (resistencias dadas para la movilidad entre cada par de zonas) mostradas en la tabla 4 pueden ser del siguiente tipo: exponencial negativa, potencial inversa, gamma o funciones discretas.

Tabla 4 Funciones de impedancia para el modelo gravitatorio

Función	Expresión
Exponencial	$f(c_{ij}) = e^{-c(c_{ij})} \quad c > 0$
Potencial inversa	$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-b} \quad b > 0$
Gamma	$f(c_{ij}) = c_{ij} = a c_{ij}^{-b} e^{-c(c_{ij})} \quad a > 0, c > 0$

En las expresiones de la tabla 4, a, b y c son constantes que deben calibrarse y c_{ij} es el valor de la impedancia en términos de la distancia, el tiempo de viaje o el costo de viaje entre la zona i y la zona j.

Considerando que los viajes urbanos son dados por la distribución espacial de los lugares de vivienda, trabajo, estudio, etc., así como los conceptos referidos en los numerales anteriores, el modelo gravitatorio resulta ser el más apropiado para la distribución de viajes en el área de estudio [1].

De acuerdo con la experiencia en la estimación de modelos de transporte, las funciones de impedancia que normalmente se utilizan, y fueron utilizadas en la modelación se presentan en la tabla 4. Gracias al software especializado TransCAD que ofrece una gran ayuda para la modelación del transporte, se consigue calibrar cada una de las tres funciones: exponencial negativa, potencial inversa o gamma, entre las que se elige la mejor, para posteriormente determinar el modelo gravitatorio que represente de la mejor forma la distribución espacial de viajes en la ciudad.

Se entiende entonces que es necesario conocer las distancias que existen entre las zonas en las que se ha dividido la ciudad y a partir de ellos obtener, el tiempo de viaje entre ellas o el costo del viaje. Se procedió de la siguiente manera:

- Se separaron los viajes Basados en el Hogar (HB) de los viajes No Basados en el Hogar (NHB), por motivos, categorías y períodos.
- Se obtuvieron las matrices de viajes y de costos utilizando la información de las

encuestas Origen - Destino para cada uno de las clasificaciones efectuadas anteriormente. Esta matriz se consideró como referente de comparación para la modelación.

- Utilizando las matrices de viajes y de costos medios (tiempos medios) para el año base y la posible función de impedancia, se efectuaron las iteraciones necesarias para obtener los coeficientes de calibración de la función de impedancia.

Se elaboró la gráfica de las frecuencias de los costos medios para cada clasificación de viajes efectuada con el fin de tener una idea inicial del tipo de función de impedancia (Gamma, exponencial, exponencial inversa o función discreta) que puede ajustarse a la distribución de costos para dicha clasificación. En la figura 3 se muestra esta curva de la distribución diaria de viajes por duración (cada 5 minutos) en el Valle de Aburrá en el 2005, la cual se ajusta a la gráfica de una función exponencial negativa, siendo la función de impedancia elegida [8].

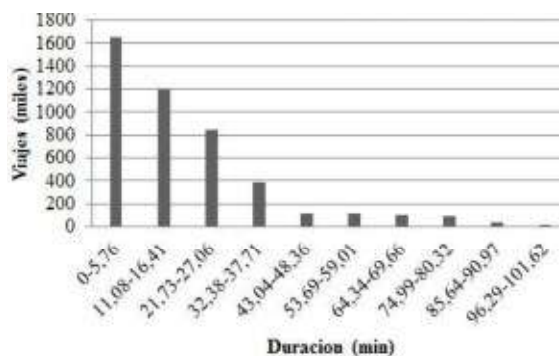


Figura 3 Distribución de viajes por duración en el Valle de Aburrá 2005

Se calibraron las tres funciones de impedancia descritas anteriormente por períodos, categorías y propósitos y se obtuvieron los valores de las constantes de las funciones de impedancia

respectivas. Los mejores resultados se obtuvieron para la función exponencial negativa y se presentan en la tabla 5. La función Gamma no converge para el estudio.

Tabla 5 Calibración de las funciones de impedancia por categorías, periodo y propósito

Propósito	Período	Constantes de la Función Exponencial negativa (c)					
		Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5	Cat. 6
Estudio	AM	0,1689	0,2640	0,0804	0,0782	0,0523	0,0766
Trabajo		0,0373	0,1248	0,0278	0,0325	0,0117	0,0277
Otros		0,0625	0,0329	0,0499	0,0677	0,0647	0,0430
Estudio	PM	0,0843	0,2057	0,0436	0,0263	0,0165	0,0285
Trabajo		0,0469	0,1044	0,0330	0,0332	0,0187	0,0231
Otros		0,1013	0,8589	0,0462	0,2194	0,0652	0,0076

Evaluación del modelo de distribución de viajes en el área de estudio

Una vez calibrado el modelo se puede evaluar en condiciones presentes para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- Se obtuvieron las generaciones y atracciones para el año base en cada una de las zonas definidas con los modelos de generación.
- Se calcularon las matrices de costos medios (tiempos medios) para el año base (2005).
- Se efectuó la distribución de los viajes a partir de la ecuación del modelo gravitatorio (3) para obtener la matriz de los viajes

presentes utilizando la función de impedancia obtenida de la calibración. Para un mejor ajuste se introducen factores k_{ij} para tratar de reproducir lo mejor posible las celdas de la matriz de viajes observados.

- Se evaluó el modelo para cada propósito, categoría y período con cada de las correspondientes funciones de impedancia que estaban calibradas y se obtuvieron los valores del coeficiente de correlación R^2 para ver si la modelación es significativa comparando los viajes observados y los viajes modelados entre zonas y correlacionándolos. Los mejores resultados alcanzados fueron los de la exponencial negativa los cuales se presentan en la tabla 6.

Tabla 6 Modelos según tipo de viajes evaluados por periodo y propósito

Propósito	Período	Coeficiente de Correlación R^2 viajes observados vs. viajes modelados					
		Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5	Cat. 6
Estudio	AM	0,9335	0,9367	0,8866	0,7823	0,8446	0,7773
Trabajo		0,8362	0,8789	0,4101	0,7357	0,8959	0,8537
Otros		0,8891	0,9921	0,7573	0,8217	0,9648	0,8643

Propósito	Período	Coeficiente de Correlación R ² viajes observados vs. viajes modelados					
		Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5	Cat. 6
Estudio		0,8331	0,9749	0,8222	0,8979	0,9216	0,8764
Trabajo	PM	0,7896	0,9186	0,7417	0,8172	0,8600	0,8034
Otros		0,9250	0,8540	0,9129	0,9757	0,4101	0,9849

Se puede observar que la mayoría de los coeficientes de correlación presentados en la tabla 6 son bastante cercanos a la unidad mostrando una buena representación de los viajes observados. Sin embargo se observa para el propósito *trabajo* en el período AM de la categoría 3 y para el propósito *Otros* del período PM de la categoría 5, se presenta un valor bajo del coeficiente de correlación. Esto podría ser explicado ya que en esas categorías no hay presencia de automóvil y se debe aclarar que los modelos trabajados son sólo una representación de la realidad y se debería extender la investigación en un futuro evaluando nuevas categorías con el fin de obtener mejores resultados.

Se propone, en consecuencia con los resultados encontrados, efectuar la modelación de la distribución de los viajes por categorías, utilizando las matrices de impedancia de tiempos de viaje y la función de impedancias exponencial, con el parámetro de calibración (*c*), incluidos en la tabla 5 ya que convergen rápidamente y tienen adecuados valores de coeficientes de correlación R².

El modelo elegido, con la función exponencial negativa, es presentado en la ecuación (4)

$$V_{ij} = kP_i A_j e^{-c(c_{ij})} \quad (4)$$

Donde

- V_{ij}: Viajes entre el origen i y el destino j
- P_i: Total de viajes producidos en el origen i
- A_j: Total de viajes atraídos en el destino j
- e^{-c(c_{ij})}: Factor de fricción del viaje entre i y j, de tipo exponencial negativo

k es una constante de proporcionalidad

De esta forma se obtuvo la familia de modelos por categorías socioeconómicas para los casos de los viajes mencionados al *trabajo*, al *estudio* y a *otros* para las dos (2) horas pico de la mañana y de la tarde, calibrados a partir de las matrices de viajes observados, obteniéndose así las matrices Origen Destino modeladas [3] y que pueden ser utilizadas como herramienta para el pronóstico de viajes para escenarios futuros utilizando la misma herramienta de modelación

Conclusiones

Se puede observar que la modelación de la distribución de viajes está bien ajustada a la familia de modelos trabajados por categorías socioeconómicas, ya que se modela la distribución de viajes con base en divisiones en la ciudad, y no como un todo, ya que los viajes realizados en el área de estudio se comportan diferente dependiendo de varios aspectos como por ejemplo el factor económico y de uso de vehículo particular, separado en la modelación por categorías.

Se encontró que en el modelo gravitatorio las impedancias dan una idea matemática mas no ingenieril de hacia dónde se realizan los viajes ya que depende de factores socioeconómicos y culturales de estas zonas, además del propósito con que se esté viajando en un período determinado del día, por ejemplo entre dos zonas lejanas.

Los valores de correlación obtenidos, permiten asegurar que el modelo encontrado, compuesto por los valores del parámetro *c* para la función exponencial, es adecuado para realizar la distribución de viajes en períodos pico en el Valle de Aburrá, a partir de los vectores de generación y atracción del año base y se puede utilizar así mis-

mo para obtener viajes proyectados en diferentes escenarios de desarrollo futuro.

Para el Valle de Aburrá la función de impedancia que mejor se ajusta al modelo estudiado es la función exponencial en la cual se obtuvieron buenos valores de coeficientes de correlación R^2 (algunos coeficientes del orden de 0.9) que representan una buena relación entre viajes observados vs. viajes modelados en las horas picos de la mañana y de la tarde. La función potencial inversa también converge pero el ajuste no es tan bueno como el que presenta la exponencial. La función Gamma no converge en estos períodos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Área Metropolitana del Valle de Aburrá por financiar con aportes del Municipio de Medellín, el Metro de Medellín y las empresas transportadoras del Valle de Aburrá, la Encuesta Origen-Destino de Hogares 2005 realizada por la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín de donde fueron obtenidos los datos para realizar la presente investigación.

Referencias

- 1 J. Ortúzar. *Modelos de demanda de transporte*. Ediciones Universidad Católica de Chile. México. 2000. pp. 238.
- 2 O. Ramirez, N. Sierra, “Distribución de viajes en el proceso tradicional de planteamiento de transporte urbano”. Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Medellín, Colombia. 1989.
- 3 C. González. *Modelación de la distribución de viajes en el Valle de Aburrá 2005*. Maestría en Ingeniería - estructura y Sistemas de Transporte. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Medellín, Colombia. 2007. pp. 99.
- 4 AMVA. “Formulación del Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá”. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín, Colombia. 2007. pp. 400.
- 5 Congreso de Colombia. “Ley 142 de 1994, Artículo 102”. Ed. Bogotá, 1994, p. 59.
- 6 CONPES, “Documento CONPES 3386. “Plan de acción para la focalización de los subsidios para servicios públicos domiciliarios”. Ed. Bogotá, 2005, p. 10.
- 7 J. Ortuzar, L. Willumsen. *Modelling transport*. 3rd. ed Ed. Chichester: John Wiley and Sons. 2001. pp. 449.
- 8 C. Gonzalez, I. Sarmiento. “Modelación de la distribución de viajes en el Valle de Aburrá utilizando el modelo gravitatorio”. *DYNA*. 2009. pp. 199-208.