



Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas  
Programa de Maestría en Ingeniería

# **MODELACIÓN DE LA ELECCIÓN DE MODO Y HORA DE SALIDA ANTE PICO Y PLACA COMBINADO CON PEAJE URBANO**

Tesis de grado para optar el título de Magíster en Ingeniería  
Infraestructura y Sistemas de Transporte

I.C. CAROLINA ÁLVAREZ VALENCIA

Director  
Iván Sarmiento Ordosgoitia PhD  
Escuela de Ingeniería Civil

Co-Director  
Víctor Cantillo Phd  
Universidad Uninorte

Medellín  
2009

## NOTAS DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Segundo Jurado

---

Tercer Jurado

Medellín, Mayo de 2009

## **DEDICATORIA**

A mi madre por estar siempre ahí, impulsándome y motivándome a seguir adelante. Gracias por tus sabios consejos.

A la Universidad Nacional de Colombia, por forjarme como profesional y persona. Siempre en mi corazón.

## AGRADECIMIENTOS

Mis mayores agradecimientos los dirijo a la Universidad Nacional de Colombia y en especial al "Programa de becas para estudiantes sobresalientes de posgrado", puesto que sin su apoyo no hubiese sido posible culminar con éxito esta etapa de mi vida tan llena de retos y satisfacciones.

Por otro lado, agradezco enormemente a todos mis profesores: a Iván Sarmiento por sus consejos y ayuda, a Víctor Valencia por su conocimiento, a Víctor Cantillo por estar siempre presto a resolver mis inquietudes y a Ángela Mejía por su gran apoyo y asesoría en un tema desconocido para mí, como lo es la investigación cualitativa, pero fundamental en este estudio. A mis compañeros de maestría por ser parte de este proceso, mis mejores deseos.

A Adriana, por apoyar este trabajo desde sus comienzos, constituyéndose en parte fundamental del mismo, gracias por soportar conmigo los momentos de estrés y largos traspasos. Tu ayuda fue invaluable.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REQUERIMIENTOS, OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>2</b>
2.1	REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES .....	2
2.2	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	3
2.3.1	Objetivo General .....	4
2.3.2	Objetivos Específicos .....	4
2.4	APORTES QUE SE ESPERAN OBTENER.....	4
<b>3</b>	<b>PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>5</b>
3.1	PROBLEMÁTICA.....	5
3.2	JUSTIFICACIÓN.....	6
<b>4</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>7</b>
4.1	EL “PICO Y PLACA” EN COLOMBIA .....	7
4.1.1	El caso del “Pico y Placa” en Medellín .....	8
4.2	LOS PEAJES URBANOS Y EL COBRO POR CONGESTIÓN .....	16
4.2.1	Los Peajes Urbanos en ciudades europeas .....	17
4.2.2	Los Peajes Urbanos en otras ciudades.....	20
<b>5</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>23</b>
5.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	23
5.2	OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA .....	23
5.3	OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA .....	23
5.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA.....	25
<b>6</b>	<b>MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>27</b>
6.1	LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA .....	27
6.1.1	Entrevistas a profundidad .....	28
6.1.2	Grupos focales .....	29
6.2	LA MODELACIÓN DE LA DEMANDA .....	30
6.2.1	Los modelos de elección discreta .....	31
6.2.2	La técnica de preferencias declaradas (PD).....	36
6.2.3	Especificación y Estimación de Modelos .....	40
6.3	INVESTIGACIONES EN EL CAMPO DE INTERÉS.....	42
<b>7</b>	<b>DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	<b>45</b>
7.1	CARACTERÍSTICAS DE LA MOTORIZACIÓN AÑO 2005 A 2008 .....	45
7.2	SITUACIÓN EN EL AÑO 2008 .....	46
<b>8</b>	<b>ESTUDIO DE CASO: LA ELECCIÓN DE MODO Y HORA DE SALIDA</b> .....	<b>50</b>
8.1	LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA EN LA DETERMINACIÓN DE OTRAS VARIABLES EXPLICATIVAS .....	50

8.1.1	Análisis del Grupo Focal .....	50
8.1.2	Análisis de las Encuestas a Profundidad .....	52
8.2	LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA COMO MEDIO PARA LA MODELACIÓN DE POLÍTICAS DE MOVILIDAD .....	56
8.2.1	Metodología para el diseño de encuestas de preferencias declaradas para el caso de estudio.....	56
8.2.2	Depuración de la encuesta de preferencias declaradas.....	59
8.2.3	Análisis estadístico de la información recopilada .....	60
<b>9</b>	<b>FORMULACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL MODELO.....</b>	<b>64</b>
9.1	ESPECIFICACIÓN DEL MODELO .....	64
9.1.1	Tipos de Variables.....	65
9.1.2	El tipo de modelo de acuerdo al proceso de elección .....	66
9.2	ESTIMACIÓN DEL MODELO .....	68
9.2.1	Modelos MNL.....	68
9.2.2	Modelos MXL .....	71
9.2.3	Cuotas de mercado de los modos.....	74
9.2.4	Elasticidades directas y cruzadas del modelo .....	75
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Análisis antes y después de la medida del Pico y Placa año 2005 (Av. El Poblado con Calle 14) AM. ....	11
<b>Figura 2.</b> Análisis antes y después de la medida del Pico y Placa año 2005 (Av. El Poblado con Calle 14) PM. ....	11
<b>Figura 3.</b> Esquema de peaje urbano basado en las trayectorias de congestión (por corredores) y en trayectorias de circulación (zonal). ....	18
<b>Figura 4.</b> Área de cobro en el centro de Londres. ....	18
<b>Figura 5.</b> Señales y símbolos entrando al área de cobro. ....	19
<b>Figura 6.</b> Red de autopistas y carreteras regionales. ....	19
<b>Figura 7.</b> Sistema electrónico de recaudo. ....	20
<b>Figura 8.</b> Puntos de la malla vial congestionada de Auckland. ....	21
<b>Figura 9.</b> Un Tag chileno (dispositivo de cobro) adosado al parabrisas de un automóvil. ....	22
<b>Figura 10.</b> Autopista Central en Santiago de Chile. Ubicación de pórticos para cobro electrónico. ....	22
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de incremento de vehículos matriculados por año desde el año 2005 a mayo de 2008. ....	46
<b>Figura 12.</b> Promedio anual de concentraciones de PM10 en varias ciudades. ....	47
<b>Figura 13.</b> Crecimiento del Parque Automotor – Automóviles y Motos del Valle de Aburrá. ....	49
<b>Figura 14.</b> Tipo de modelo según el nivel de decisiones. ....	66

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Asignación de placas para el pico y placa de motos 2T y automóviles. Segundo semestre 2008. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Asignación de placas para el pico y placa de motos 2T y automóviles. Primer semestre 2009. ....	10
<b>Tabla 3.</b> Longitud de colas y tiempos de espera en distintos cruces. ....	12
<b>Tabla 4.</b> Tiempos de recorrido y demoras en algunos cruces. ....	12
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de los modelos de elección discreta. ....	32
<b>Tabla 6.</b> Número de automóviles por estrato socioeconómico (2005). ....	45
<b>Tabla 7.</b> Motorización por estrato. ....	46
<b>Tabla 8.</b> Distribución de viajes en los modos motorizados del Valle de Aburrá 2005. ....	48
<b>Tabla 9.</b> Distribución de viajes de modos motorizados del Valle de Aburrá 2005. ....	49
<b>Tabla 10.</b> Estadísticas básicas de las variables. ....	58
<b>Tabla 11.</b> Tamaño muestral de la encuesta según la tenencia de autos por estrato (Medellín y Área Metropolitana). ....	58
<b>Tabla 12.</b> Porcentaje de cumplimiento del tamaño muestral requerido para la encuesta. ....	59
<b>Tabla 13.</b> Distribución de encuestas por sexo. ....	60
<b>Tabla 14.</b> Distribución de encuestas por edad. ....	61
<b>Tabla 15.</b> Distribución de encuestas por motivo de viaje. ....	61
<b>Tabla 16.</b> Distribución de encuestas por estrato. ....	61
<b>Tabla 17.</b> Distribución de encuestas por nivel de ingresos. ....	61
<b>Tabla 18.</b> Distribución de encuestas por cargo. ....	62
<b>Tabla 19.</b> Distribución de encuestas por flexibilidad. ....	62
<b>Tabla 20.</b> Distribución de encuestas con flexibilidad. ....	62
<b>Tabla 21.</b> Distribución de encuestas por acompañamiento. ....	62
<b>Tabla 22.</b> Distribución de encuestas por hora de inicio de actividades. ....	63
<b>Tabla 23.</b> Porcentaje de elección por alternativa. ....	63
<b>Tabla 24.</b> Variables explicativas. ....	65
<b>Tabla 25.</b> Otras variables. ....	65
<b>Tabla 26.</b> Comparación de resultados según la base de datos utilizada. ....	67
<b>Tabla 27.</b> Ranking de modelos MNL. ....	69
<b>Tabla 28.</b> Resultados de los modelos MNL. ....	70
<b>Tabla 29.</b> Resultados de los modelos MXL con coeficientes aleatorios y distribución normal. ....	71
<b>Tabla 30.</b> Ranking de modelos MXL. ....	72
<b>Tabla 31.</b> Escogencia del mejor modelo. ....	73
<b>Tabla 32.</b> Cuotas de mercado de los modos. ....	74
<b>Tabla 33.</b> Datos complementarios para el cálculo de las cuotas de mercado ....	75
<b>Tabla 34.</b> Elasticidades directas y cruzadas del modelo elegido. ....	76

## TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1	$U_{in} = V_{in} + \eta_{in} + \varepsilon_{in}$ .....	33
Ecuación 2	$P_n(i/\eta) = \frac{\exp(V_{in} + \eta_{in})}{\sum_{j=1}^{J_n} \exp(V_{jn} + \eta_{jn})}$ .....	33
Ecuación 3	$P_{in} = \int P_n(i/\eta) f(\eta/\theta^*) d\eta$ .....	33
Ecuación 4	$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq}$ .....	35
Ecuación 5	$P_{iq} = \text{Pr ob} \{ \varepsilon_{jq} \leq \varepsilon_{iq} + (V_{iq} - V_{jq}), \forall A_j \in A(q) \}$ .....	36
Ecuación 6	$P_{iq} = \int_{\varepsilon_{iq}=-\infty}^{\infty} \int_{\varepsilon_{1q}=-\infty}^{V_{iq}-V_{1q}+\varepsilon_{iq}} \dots \int_{\varepsilon_{Nq}=-\infty}^{V_{iq}-V_{Nq}+\varepsilon_{iq}} f(\varepsilon_{1q}, \varepsilon_{2q}, \dots, \varepsilon_{Nq}) d\varepsilon_{1q} \dots d\varepsilon_{Nq}$ .....	36
Ecuación 7	$L = L(\theta) = \prod_{q=1}^Q \prod_{A_j \in A(q)} P_{jq}^{g_{jq}}$ .....	40
Ecuación 8	$\ln L(\theta) = l(\theta) = \sum_{q=1}^Q \sum_{A_j \in A(q)} g_{jq} \ln P_{jq}$ .....	40
Ecuación 9	$\underline{V} = - \left\{ E \left[ \frac{\partial^2 l(\theta)}{\partial \theta^2} \right] \right\}^{-1}$ .....	40
Ecuación 10	$t = \frac{\hat{\theta}_k}{\sigma_{kk}} \sim N(0,1)$ .....	41
Ecuación 11	$LR = -2 \{ l(\hat{\theta}_r) - l(\hat{\theta}) \}$ .....	41
Ecuación 12	$\rho^2 = 1 - \frac{l(\hat{\theta})}{l(0)}$ .....	42
Ecuación 13	$\bar{\rho}^2 = 1 - \frac{l(\hat{\theta})}{l(C)}$ .....	42
Ecuación 14	$U_i = \beta_i + \theta_c C_i + \theta_{TV} TV_i + \theta_{TE} TE_i + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2)$ .....	64
Ecuación 15	$U_3 = \beta_3 + \theta_c C_3 + \theta_{TV} TV_3 + \theta_{TE} TE_3 + \theta_{Cc} Cc_3 + \varepsilon_3$ .....	64
Ecuación 16	$U_4 = \beta_4 + \theta_c C_4 + \theta_{TV} TV_4 + \theta_{TE} TE_4 + \theta_{F1} F_1 + \varepsilon_4$ .....	65
Ecuación 17	$U_5 = \beta_5 + \theta_c C_5 + \theta_{TV} TV_5 + \theta_{TE} TE_5 + \theta_{F2} F_2 + \varepsilon_5$ .....	65

$$U_{BUSMET} = \beta_{BUSMET} + \theta_c C_{BUSMET} + \theta_{Ta} Ta_{BUSMET} + \theta_{SEX} SEX_i$$

$$U_{TAXI} = \beta_{TAXI} + \theta_c C_{TAXI} + \theta_{Ta} Ta_{TAXI} + \theta_{SEX} SEX_i$$

**Ecuación 18**  $U_{SPU} = \beta_{SPU} + \theta_c C_{SPU} + \theta_{Ta} Ta_{SPU} + \theta_{Cc} Cc_{SPU} + \theta_{SEX} SEX_i \dots\dots\dots 69$

$$U_{SAA} = \beta_{SAA} + \theta_c C_{SAA} + \theta_{Ta} Ta_{SAA} + \theta_{SEX} SEX_i$$

$$U_{SAD} = \beta_{SAD} + \theta_c C_{SAD} + \theta_{Ta} Ta_{SAD} + \theta_{F2} F_2$$

$$U_{BUSMET} = -1.08 - 0.000191C_{BUSMET} - 0.055Ta_{BUSMET} + 0.746SEX_i$$

$$U_{TAXI} = -1.71 - 0.000191C_{TAXI} - 0.055Ta_{TAXI} + 0.746SEX_i$$

**Ecuación 19**  $U_{SPU} = -0.240 - 0.000191C_{SPU} - 0.055\theta_{Ta} Ta_{SPU} - 0.000223Cc_{SPU} + 0.746SEX_i \dots\dots\dots 69$

$$U_{SAA} = -0.000191C_{SAA} - 0.055\theta_{Ta} Ta_{SAA} + 0.746SEX_i$$

$$U_{SAD} = 0.432 - 0.000191C_{SAD} - 0.055Ta_{SAD} - 0.399F_2$$

$$U_{BUSMET} = \beta_{BUSMET} + \theta_c C_{BUSMET} + \theta_{Ta} Ta_{BUSMET}$$

$$U_{TAXI} = \beta_{TAXI} + \theta_c C_{TAXI} + \theta_{Ta} Ta_{TAXI}$$

**Ecuación 20**  $U_{SPU} = \beta_{SPU} + \theta_c C_{SPU} + \theta_{Ta} Ta_{SPU} + \theta_{Cc} Cc_{SPU} \dots\dots\dots 72$

$$U_{SAA} = \beta_{SAA} + \theta_c C_{SAA} + \theta_{Ta} Ta_{SAA}$$

$$U_{SAD} = \beta_{SAD} + \theta_c C_{SAD} + \theta_{Ta} Ta_{SAD}$$

$$U_{BUSMET} = -2.32 - 0.000216C_{BUSMET} - 0.0663Ta_{BUSMET}$$

$$U_{TAXI} = -1.64 - 0.000216C_{TAXI} - 0.0663Ta_{TAXI}$$

**Ecuación 21**  $U_{SPU} = -0.308 - 0.000216C_{SPU} - 0.0663\theta_{Ta} Ta_{SPU} - 0.000225Cc_{SPU} \dots\dots\dots 72$

$$U_{SAA} = -0.000216C_{SAA} - 0.0663\theta_{Ta} Ta_{SAA}$$

$$U_{SAD} = -0.137 - 0.000216C_{SAD} - 0.0663Ta_{SAD}$$

**Ecuación 22**  $E_{piq} X_{ikq} = \theta_{ik} X_{ik} (1 - P_{iq}) \dots\dots\dots 75$

**Ecuación 23**  $E_{Piq} X_{jkq} = -\theta_{jk} X_{jk} P_{jq} \dots\dots\dots 75$

## RESUMEN

En ciudades latinoamericanas como Medellín, el uso del vehículo particular ha tenido notables incrementos en los últimos años, es por esto que el efecto directo sobre la movilidad vial se ha visto directamente afectado por la congestión de las vías arteriales de la malla vial. Como consecuencia de este incremento en la tasa de motorización se han llevado a cabo distintas medidas que buscan minimizar este efecto no deseado en la movilidad, por ello se propone esta investigación como una búsqueda de alternativas de solución futura a estos problemas. El objetivo principal es modelar el efecto combinado de medidas restrictivas del tránsito como el pico y placa junto con un peaje urbano.

Durante las últimas décadas se han desarrollado diferentes metodologías para modelar el comportamiento de un individuo (en nuestro caso, conductores de vehículos particulares) frente a distintas situaciones o escenarios, algunas de ellas hipotéticas. Así nacen los modelos de elección discreta y la teoría de utilidad aleatoria, cuya fundamentación está basada en la econometría.

Dentro de la propuesta se desarrolló una metodología que permite ampliar el conocimiento del tema a través de un estudio del arte y la formulación de un modelo acerca de la interacción de los usuarios de vehículo particular y su decisión de movimiento ante medidas restrictivas de Pico y Placa y Peaje Urbano (Cobro por Congestión), siendo este último una alternativa de carácter hipotético.

La investigación cualitativa se presenta en este estudio como un componente fundamental en la comprensión del fenómeno. A través de las técnicas de grupo focal y de entrevistas a profundidad, se indagaron las percepciones de las personas, pudiendo confrontar los resultados del modelo con una valoración de las perspectivas de los investigados.

*Palabras claves:* peaje urbano, pico y placa, modelos de elección discreta, preferencias declaradas, investigación cualitativa.

## ABSTRACT

In Latin American cities like Medellin, the use of the car has had major increases in recent years, which is having a direct effect in mobility expressed in the congestion of main arterial roads. As a result of this growing rate of motorization, the city authorities have been taking different steps to decrease this unwanted effect on mobility. This research is a proposal for a searching of solutions through different alternatives to these forthcoming problems. The main objective of this research is modeling the combined effect of restrictive measures such as "Pico y Placa" with a Road Pricing.

During the past decades researchers have developed different methodologies for modeling the behavior of individuals (in our case, drivers of private vehicles), compared to some hypothetical situations and scenarios. Through this methodologies and based on econometrics Discrete Choice Models and Random Utility Theories had birth.

Under the proposal of this research I developed a methodology that makes possibly to increase the understanding of the subject through an art studying and the making of a model in relation to drivers interaction in front of restrictive measures as "Pico y Placa" and Road Pricing (Congestion pricing), being this final one an hypothetical alternative.

The qualitative research presented in this study as a key component in understanding the phenomenon. Through focus group techniques and in-depth interviews, was investigated the perceptions of people, and would compared the results with an assessment of the prospects for the research.

*Keywords:* road pricing, pico y placa, discrete choice models, stated preferences, qualitative research.

## 1 INTRODUCCIÓN

El costo de desplazarse no sólo se reduce a la tarifa o al costo operativo del vehículo propio, sino que también conlleva un consumo de tiempo que los individuos valoran de diferente manera. Por esta razón, en economía del transporte se utiliza el concepto de costo generalizado, que incluye, además de los costos directos del transporte, la valoración económica de las variables que influyen en las decisiones de los viajeros. El costo generalizado es un reflejo directo de la idea de utilidad indirecta que a su vez representa la desutilidad de viajar. (Deaton & Muellbauer, 1980)

Las reacciones ante cambios en el costo generalizado serán diferentes según las circunstancias de cada viaje. No solamente son diferentes las personas sino que el mismo individuo reaccionará de forma diferente según el motivo del viaje, la hora del viaje y el modo de transporte elegido. El modelo de demanda debe, por tanto, ser capaz de recoger toda esta variabilidad con el fin de evitar la aplicación de medidas de política que puedan afectar negativamente al bienestar social.

Los modelos de demanda desagregados constituyen, en la actualidad, la herramienta de análisis adecuada para abordar el problema de modelar la demanda por transporte. Estos se basan en el análisis del comportamiento de cada consumidor individual y cuentan con una base teórica sólida dentro del marco de la microeconomía de las elecciones discretas (McFadden, 1981) y de la teoría de la utilidad aleatoria (Domencich & McFadden, 1975). Por esta razón, su aplicación no sólo se extiende dentro del ámbito de la economía del transporte sino en cualquier contexto relacionado con la economía de las elecciones discretas. (Ortúzar, 2000)

Entre las ventajas que estos modelos presentan sobre la metodología tradicional, basada en el empleo de información agregada, cabe destacar la posibilidad de realizar un análisis desagregado de elementos tan importantes como las elasticidades de la demanda y el valor subjetivo del tiempo de los viajeros.

De igual manera, es importante profundizar en las variables subjetivas o cualitativas que los viajeros consideran en sus elecciones tales como comodidad, seguridad y el estatus por conducir un automóvil.

Estos temas son considerados en esta investigación la cual pretende establecer un modelo de elección discreta que permita predecir la elección que harán los individuos que habitualmente usan automóvil para sus viajes en hora pico en la ciudad, cuando son sometidos a restricciones de circulación o tarifarias tales como el Pico y Placa y el Peaje Urbano.

## 2 REQUERIMIENTOS, OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Con el fin de dar cumplimiento a la estructura propuesta para la presentación de proyectos de grado, se presentan a continuación los requerimientos, hipótesis y objetivos de esta investigación.

### 2.1 REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES

Para el desarrollo de este proyecto de carácter investigativo, los requerimientos básicamente están dados según el carácter de la información que se encuentra disponible y con la que se caracterizará el problema de estudio. La información servirá para la estimación del modelo y será de dos tipos: primaria y secundaria.

La información base para la investigación está conformada por la Formulación del Plan Maestro de Movilidad, realizado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, durante el año 2006; en el cual fue utilizada la Encuesta Origen – Destino de viajes domiciliaria (EOD 2005), realizada a su vez por la Universidad Nacional de Colombia. La descripción de los viajes particulares registrados en la base de datos de esta encuesta será requerida.

De acuerdo al marco del objetivo principal de esta investigación consistente en la estimación de un modelo de elección discreta mediante la técnica de Preferencias Declaradas para diferentes tipos de usuarios caracterizados por su estrato socioeconómico dentro de la ciudad de Medellín, se llevará a cabo la realización de 125 encuestas.

Para el procesamiento de las encuestas y la obtención del Modelo, se utilizará el programa **Biogeme versión 1.8**<sup>1</sup>, el cual se encuentra disponible de manera gratuita en Internet.

Las limitaciones supuestas para este tipo de investigación se relacionan a continuación:

Los Modelos de Transporte son una herramienta de planificación en las ciudades, por ello, sus resultados deben ser considerados como un insumo para dicha planificación y no como un resultado definitivo para la puesta en marcha de nuevas políticas en transporte.

Para la caracterización del usuario de automóvil se supondrá que el comportamiento sigue siendo el mismo al identificado en la EOD 2005 y se

---

<sup>1</sup> Michel Bierlaire, EPFL. <http://transp-or.epfl.ch/page63023.html>

complementará con algunos datos recogidos en la encuesta realizada, en la cual se obtiene información socioeconómica del usuario.

El período de análisis para el desarrollo de la modelación es el de mayor flujo vehicular, es decir, para los dos períodos picos del día. Se toma este período ya que la primera y más importante aplicación del modelo que se pretende obtener es durante la ocurrencia de congestión.

Como complemento directo a la modelación, se contemplaran como alternativas al transporte particular los modos de transporte público colectivo en individual como taxi, metro y bus (combinados estos dos últimos), que sean preferiblemente opciones disponibles para los individuos.

## **2.2 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

Las hipótesis de investigación que se trataron de comprobar durante el desarrollo de este estudio, son las relacionadas a continuación:

La utilidad en la elección de hora de salida para la hora de máxima demanda (HMD) de la mañana para los estratos socioeconómicos medios y bajos, está en gran medida ligada con la tarifa o pago de la multa a la que se haría acreedor por salir en los horarios de restricción de circulación. Por ende, se enfrenta a la posibilidad de salir antes o después del período restringido por el Pico y Placa.

Por otro lado, se presume que un porcentaje de esos usuarios estarán dispuestos a optar por otro modo de transporte.

La utilidad en la elección de hora de salida para los estratos socioeconómicos altos se prevé que está ligada al alto valor del tiempo de estos individuos. De esta manera, se piensa que un porcentaje considerablemente alto de estos usuarios del vehículo particular estarán en la capacidad de pagar una tarifa y hacer uso de la infraestructura o sacar el vehículo en la hora deseada.

Se presume que algunos usuarios son lexicográficos en sus elecciones y que algunos elegirán la alternativa que brinde menores tiempos de viaje o menor costo. Así, un usuario de estrato bajo optará posiblemente por la opción de viaje más económica y un usuario de estrato alto quizá escoja la alternativa más rápida de desplazamiento.

## 2.3 OBJETIVOS

La investigación contempla la obtención de los siguientes objetivos:

### 2.3.1 Objetivo General

Estimar un modelo que permita determinar la elección de modo y hora de salida ante una restricción de pico y placa combinado con peaje urbano utilizando modelos de elección discreta y las técnicas de Preferencias declaradas PD, cuyo marco de aplicación sea la ciudad de Medellín.

### 2.3.2 Objetivos Específicos

Analizar el efecto del nivel de congestión antes y después de implementar la medida del Pico y Placa en la ciudad de Medellín y con sus modificaciones.

Hacer uso de las técnicas de investigación cualitativa para definir las variables relevantes del modelo.

Caracterizar al conductor de vehículo privado y explorar sus posibilidades de movilidad.

Modelar el comportamiento ante combinaciones de Pico y Placa y Peaje Urbano con modelos Logit Mixtos.

Definir políticas de transporte urbano y posibilidades de financiación de infraestructura y sistemas de transporte.

## 2.4 APORTES QUE SE ESPERAN OBTENER

Una vez terminada la investigación, se espera aportar un peldaño más hacia el perfeccionamiento del conocimiento colectivo dado el interés actual que se tiene sobre el tema que se pretende profundizar, para lo cual se espera generar una herramienta de modelación que pueda ser utilizada en la planificación del transporte y que sea de apoyo para solucionar los problemas de movilidad a los que continuamente se ve enfrentada la ciudad.

Se busca además, recomendar algunas estrategias que modifiquen de manera eficiente las condiciones actuales de circulación y de medidas futuras que ayuden a este propósito. En este aporte se aplicarían específicamente las elasticidades encontradas respecto a los atributos evaluados, como es el costo y el tiempo de viaje.

### 3 PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

#### 3.1 PROBLEMÁTICA

La ciudad de Medellín conserva el dinamismo propio de una ciudad de su tipo y dada la generación de viajes que año a año aumentan, es evidente observar que el problema de movilidad es un factor común dentro de la problemática que vive actualmente la ciudad y que seguirá siendo el foco de atención de las autoridades de tránsito.

En ciudades latinoamericanas como Medellín, el uso del vehículo particular ha tenido notables incrementos en los últimos años, el efecto directo sobre la movilidad vial se ha visto directamente afectado por la congestión de las principales vías arteriales de la malla vial. Como consecuencia de este incremento de la tasa de motorización se han llevado a cabo distintas medidas que buscan minimizar este efecto no deseado en la movilidad.

Tal como fue posible mencionar con anterioridad, la malla vial del municipio es insuficiente para atender las necesidades de circulación que tienen los ciudadanos y aumentar esta capacidad no siempre es posible dada la poca disponibilidad de espacios y de recursos.

La alcaldía de Medellín asegura que se necesitaría invertir cerca de un billón de pesos por año en infraestructura vial (construcción de vías) para ir acorde al incremento del parque automotor, siendo su presupuesto actual para el cuatrienio de 348 mil millones de pesos. Por ello, medidas de carácter restrictivo como el Pico y Placa buscan descongestionar las vías.

Visto este panorama, es evidente que el problema de la congestión mantendrá una tendencia al incremento si no se toman algunas medidas de solución, trayendo como consecuencias<sup>2</sup>: disminución de velocidades medias en autos y buses, aumento del tiempo de viaje y de los costos de operación, disminución del número de viajes y problemas medio ambientales.

---

<sup>2</sup> Iván Sarmiento (2006) "Foro de El Colombiano".

### 3.2 JUSTIFICACIÓN

Con el incremento en el interés mundial en la aplicación de peajes urbanos y cobros de cargos por congestión, la experiencia en ciudades como Singapur y Londres cuya aplicación ha traído grandes beneficios en la movilidad, proporciona un punto de inicio para implementaciones en ciudades latinoamericanas como Santiago de Chile y en un futuro posiblemente a la ciudad de Medellín. Es por ello que nace la necesidad de comenzar a estudiar este tipo de mecanismos para mejorar la movilidad y su viabilidad futura en una ciudad como Medellín, donde la congestión del tránsito urbano es un problema frecuente y que se evidencia constantemente en las vías arterias de la ciudad y en macrozonas atractoras de viajes como es el centro de la ciudad.

El aumento tanto de población como de la actividad económica en una ciudad trae consigo problemas que pueden observarse diariamente como lo es el aumento de la congestión, altos índices de accidentalidad, contaminación del aire por fuentes móviles, ruido, etc., todos estos derivados del aumento del flujo vehicular en las áreas urbanas.

A lo largo de los años se ha demostrado que sin una planificación adecuada las ciudades están expuestas a una inevitable degradación de su calidad de vida, debido al deterioro de la calidad ambiental y a los aumentos progresivos en los tiempos de viaje y en las externalidades producidos por la congestión.

En los últimos años, se ha evidenciado empíricamente que la construcción de infraestructura o la ampliación de las vías existentes no es una solución 100% efectiva para el problema de la congestión dado que dichas infraestructuras tienden a saturarse en muy poco tiempo.

Según Fenalco (2007) "Mientras que el estado y los particulares construyen un promedio de un kilómetro de carretera cada cinco días, los concesionarios venden tres kilómetros de carros en 24 horas".

Vista la problemática que encierra este estudio, se plantea una posible solución interviniendo directamente sobre la demanda al igual que lo hace la medida Pico y Placa pero cobijado bajo el contexto de gestión de la movilidad. De igual forma, nacieron medidas como el Pico y Placa cuyos antecedentes en Colombia tienen su comienzo en Bogotá. Esta medida "ha generado un cambio de hábitos de los ciudadanos en sus formas de desplazamiento diario"<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Hernández López, Javier. "Pico y placa en Bogotá: ejercicio de autorregulación ciudadana" Secretaría de Tránsito de Bogotá.

## 4 ANTECEDENTES

### 4.1 EL “PICO Y PLACA” EN COLOMBIA

En Colombia se implementó una política para desincentivar el uso del vehículo particular conocido como pico y placa que restringe la circulación del vehículo en horas pico, de acuerdo con los últimos dígitos de de las placa de los vehículos. Los beneficios que se logran con la aplicación de la restricción vehicular en las ciudades son los siguientes:

- Desestimular el uso del transporte particular para los días que le corresponda la restricción con la correspondiente reducción en los tiempos de viaje y demoras en las horas pico.
- Disminuir los riesgos de accidentalidad por congestión.
- Reducción de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera como monóxido de carbono.

En la primera ciudad que se implementó el pico y placa fue en Bogotá D.C en el año 1998 para el servicio particular y para el servicio público en año 2001, como una norma de carácter distrital, y extensiva a todos los vehículos, con excepciones muy claras, y no excluyente a los vehículos oficiales, tan solo a la caravana presidencial. Esta idea surgió en la primera administración del alcalde Antanas Mockus y para su segundo mandato se llevó a cabo la implementación de esta medida.

Tomando a Bogotá como referencia, esta medida se adoptó en otras ciudades como Medellín, Cali, Cartagena, Santa Marta, Manizales, Bucaramanga, Popayán, Ibagüé, Armenia y Pereira. En todos los casos, la medida rige de lunes a viernes en periodos pico los cuales varían de acuerdo a la ciudad al igual que el número de placas que se restringe diariamente. La restricción varía también de acuerdo al tipo de vehículo: particular, motocicletas, taxis, servicio público colectivo y vehículos de carga.

También existen experiencias internacionales como en Sao Paulo, Ciudad de México “Hoy no circula en México” y Santiago de Chile, además de nuevas implementaciones en el estado de Miranda en Venezuela y propuesta en la ciudad de Quito.

En el año 2008 se presentó un proyecto de ley que busca aplicar la medida del Pico y Placa a nivel nacional a través de una Tabla Única de Restricción Vehicular con una rotación anual. Este proyecto busca unificar el dígito final de la placa con restricción en todo el territorio nacional. Lo que se pretende, según el representante a la cámara Felipe Orozco (autor de la iniciativa) es “disminuir

los altos índices de contaminación atmosférica, mejorar el flujo vehicular en todo el país, optimizar la movilidad urbana, mejorar la productividad de las ciudades, garantizar el desplazamiento satisfactorio de los vehículos dentro de los márgenes de seguridad y tranquilidad que exige el orden público y propender por el bienestar general y la calidad de la vida de los colombianos”.

#### **4.1.1 El caso del “Pico y Placa” en Medellín**

En el año 2004, la Secretaría de Transportes y Tránsito de la ciudad de Medellín, realizó un estudio técnico para la implementación de una medida que pudiese disminuir el grado de saturación de las vías de la ciudad en las horas de mayor demanda.

El estudio se denominó “ESTUDIO TÉCNICO PARA UNA RACIONALIZACIÓN DEL USO DEL TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN”, en el cual se analizó el comportamiento de los grados de saturación de corredores principales con la disminución de un porcentaje de vehículos en las horas pico.

Dicha medida de carácter restrictivo de la demanda fue interpuesta según Decreto número 0097 del 26 de enero del 2005, por medio del cual se adopta una medida en tránsito para el mejor ordenamiento de la circulación en el Municipio de Medellín, con el propósito de mejorar la calidad de la circulación en las vías de la ciudad, a partir del 01 de febrero 2005. El Pico y Placa comenzó a operar para dos placas diarias de lunes a viernes, equivalente a un día semanal y con una rotación semestral, en los períodos picos de la mañana y tarde, 6:30 am a 8:30 am y 5:30 a 7:30 pm respectivamente.

La medida se modificó el 01 de agosto de 2008 como resultado de un estudio realizado por la Secretaría de Transportes y Tránsito llamado “Pico y Placa en la Ciudad de Medellín” el cual arrojó como resultado la necesidad que tenía la ciudad de mejorar las condiciones de movilidad y congestión debido al incremento desmesurado del parque automotor en relación a la capacidad vial existente, dicho resultado se obtuvo luego de analizar los grados de saturación de las principales intersecciones semaforizadas de la ciudad. Así, comenzó a operar la medida con cuatro placas diarias, equivalente a tener la restricción dos días a la semana y durante el mismo período pico de la mañana y de la tarde, de 6:30 am a 8:30 am y de 5:30 a 7:30 pm. Inicialmente, la medida pretendía implementarse durante todo el día, un solo día a la semana, pero dicha modificación tuvo muchos detractores en el ámbito político, técnico, social y económico; su fundamentación radicaba en la extensión de los períodos picos a casi todo el período valle, es decir, los períodos valles se estaban comportando casi como los períodos picos, por esto una medida restrictiva durante todo el día podría mejorar las características de circulación sin el riesgo

de trasladar o desplazar los períodos picos a otras horas como sucede actualmente.

A diferencia de las rotaciones semestrales realizadas anteriormente, la nueva modificación del Pico y Placa tendrá rotaciones aleatorias semestrales, de esta manera se evitará que los usuarios de vehículo particular con mayor capacidad adquisitiva adquieran un segundo vehículo (normalmente de bajo precio y modelo viejo) con la intención de evadir la restricción. De igual manera, se pretende garantizar así que no haya prelación por el día aunque lo más importante es desestimular la compra de un segundo vehículo, esto permite que la selección de los números y los días no pueda calcularse para los siguientes semestres.

Así mismo, esta modificación trajo consigo la aplicación de la restricción a motocicletas de dos tiempos 2T (dos placas por día) tomando el primer dígito de la placa en los mismos períodos pico. Esta decisión se tomó más como una medida ambiental que de tránsito puesto que este tipo de motocicletas son más contaminantes.

La Tabla 1 presenta la asignación diaria de placas durante el segundo semestre del año 2008 para la restricción de la circulación durante la semana. Para el comienzo del año 2009 la asignación de placas aplicará a partir del 2 de febrero hasta el 31 de julio según lo muestra la Tabla 2. La rotación para motos de 2T tendrá la misma rotación cada seis meses desplazando un día los números de placa.

**Tabla 1.** Asignación de placas para el pico y placa de motos 2T y automóviles. Segundo semestre 2008.

Día	Motos 2T	Automóviles
Lunes	6 y 7	6, 7, 8 y 9
Martes	8 y 9	0, 1, 2 y 3
Miércoles	0 y 1	4, 5, 6 y 7
Jueves	2 y 3	8, 9, 0 y 1
Viernes	4 y 5	2, 3, 4 y 5

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 2.** Asignación de placas para el pico y placa de motos 2T y automóviles. Primer semestre 2009.

Día	Motos 2T	Automóviles
Lunes	4 y 5	0, 2, 7 y 8
Martes	6 y 7	5, 6, 7 y 8
Miércoles	8 y 9	4, 5, 6 y 9
Jueves	0 y 1	1, 3, 4 y 9
Viernes	2 y 3	0, 1, 2 y 3

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.1.1.1 El efecto del “Pico y Placa” en la ciudad de Medellín

En las distintas ciudades colombianas donde se ha implementado esta medida, se han podido observar distintos factores positivos para la circulación: disminución de las demoras, menores longitudes de colas en intersecciones y disminución en los tiempos de espera, disminución de los tiempos de recorrido y mayores velocidades promedio. El efecto directo del Pico y Placa sobre la movilidad en la red vial principal de la ciudad ha sido estudiado antes y después de implementarse la medida, para el caso de Medellín y según estudios realizados<sup>4</sup>. Este tipo de medida ha sido efectiva a corto plazo, disminuyendo la congestión, la contaminación y mejorando la circulación en horas pico, aunque este efecto se va disipando progresivamente por el aumento del parque automotor.

#### AÑO 2005

Este análisis comparativo del Pico y Placa antes y después tuvo como fin evaluar los efectos de la medida del Pico y Placa en cuanto a congestión, tiempos de espera y longitudes de cola en cruces semaforizados, demoras y velocidades de recorrido, se realizaron mediciones en la red vial del Municipio de Medellín, sobre volúmenes vehiculares, longitudes de colas y tiempos de espera, y tiempos de recorrido y demoras, en cruces y vías en los cuales se dispone de las mismas mediciones antes de implementar la medida del Pico y Placa. La información presentada hace parte del estudio “Análisis comparativo antes y después de la implementación de la medida de pico y placa aforos vehiculares, longitud de colas y tiempos de espera, y tiempos de recorrido y demoras” realizado por el I.C. Esp. Álvaro Vélez Gil (2005), para la Secretaría de Transportes y Tránsito de Medellín.

---

<sup>4</sup> Análisis comparativo antes y después de la implementación de la medida de pico y placa aforos vehiculares, longitud de colas y tiempos de espera, y tiempos de recorrido y demoras. I.C. Esp. Álvaro Vélez Gil, 2005.

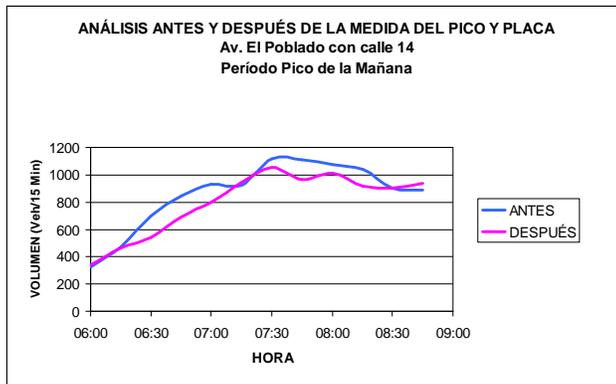
Los aforos realizados permitieron medir volúmenes vehiculares, longitud de colas, tiempos de espera, tiempos de recorrido y demoras.

El análisis comparativo de las mediciones de campo se realizó sobre volúmenes vehiculares, longitudes de colas y tiempos de espera, tiempos de recorrido y demoras, antes de implementar la medida del Pico y Placa y después de su implementación:

### Volúmenes vehiculares

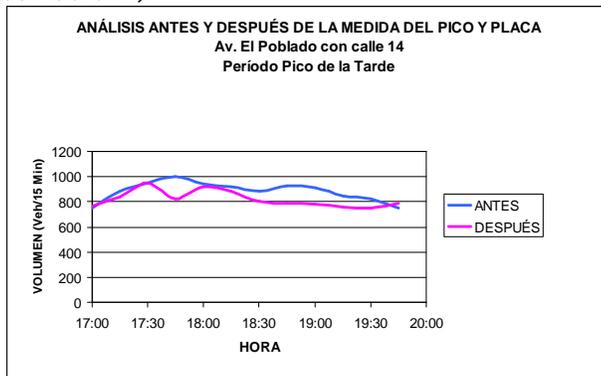
Para el cruce de la Avenida El Poblado con Calle 14 (Castropol), al igual que para otros cruces de la ciudad, se realizó un gráfico comparativo de los volúmenes de la intersección antes de la medida del Pico y Placa y después de implementar la medida, para el período pico de la mañana (6:00 a 9:00) y de la tarde (17:00 a 20:00).

**Figura 1.** Análisis antes y después de la medida del Pico y Placa año 2005 (Av. El Poblado con Calle 14) AM.



FUENTE: Secretaría de Transportes y Tránsito de Medellín, 2005.

**Figura 2.** Análisis antes y después de la medida del Pico y Placa año 2005 (Av. El Poblado con Calle 14) PM.



FUENTE: Secretaría de Transportes y Tránsito de Medellín, 2005.

Longitudes de colas y tiempos de espera

El estudio encontró que en algunas intersecciones la longitud de cola y los tiempos de espera disminuyeron no así para otros sitios.

**Tabla 3.** Longitud de colas y tiempos de espera en distintos cruces.

Cruce		Variación (%)			
		Aumentó		Disminuyó	
		Fila	Tiempo	Fila	Tiempo
Av. Las Vegas x Calle 10	AM			51	52
	PM			53	53
Av. Las Vegas con Calle 12 Sur	AM			39	34
	PM			39	40
Av. Poblado con Calle 14	AM	9	16		
	PM		2	19	
Av. Poblado con Balsos	AM	14	45		
	PM	24	20		
Transversal Inferior con Balsos	AM	25	30		
	PM	52	59		
Avenida 80 con Calle 30	AM	8	11		
	PM			31	17
Avenida 80 con Calle 50	AM			20	23
	PM			40	50

FUENTE: Secretaría de Transportes y Tránsito de Medellín, 2005.

Tiempos de recorrido y demoras

Unos resultados similares se encontraron con los tiempos de recorrido y demoras. La Tabla 4 presenta los resultados de algunas vías de importancia.

**Tabla 4.** Tiempos de recorrido y demoras en algunos cruces.

Vía	Velocidad (km/h)		Variación (%)	
	Antes	Después	Aumentó	Disminuyó
Av. El Poblado	20	26	33	
Av. Las Vegas	23	28	25	
Calle 10	13	23	90	
Calle 30	20	25	25	

FUENTE: Secretaría de Transportes y Tránsito de Medellín, 2005.

A partir de las mediciones realizadas se pudo concluir que se obtuvieron resultados favorables después de implementar el Pico y Placa en el año 2005:

- Una disminución del 17% en promedio en los volúmenes vehiculares de los cruces analizados.
- Una disminución del 12% en la longitud de las filas.
- Una disminución del 7% en los tiempos de espera.
- Un aumento del 40% en promedio de las velocidades de recorrido.

Algunas de las mediciones tomadas después de la implementación del Pico y Placa, parecen desmejorar con la medida, lo que obedece al balance del sistema vial urbano, es decir, los usuarios antes de implementar la medida toman rutas alternas, que siendo más largas, disminuyen el tiempo de viaje. Al implementarse la medida, los usuarios regresan al sistema vial arterial ya que lo encuentran más atractivo (por presentar menos demoras).

## **AÑO 2008**

Para analizar el efecto del Pico y Placa para el segundo semestre del año 2008, la Secretaría de Transportes y Tránsito contrató un estudio en el cual se midiera sus efectos en la movilidad. Previo a ese estudio, sus analistas de transportes realizaron un primer análisis de los efectos de la medida.

### PRIMER ANÁLISIS DEL PICO Y PLACA

Una vez modificado el Pico y Placa en el segundo semestre de 2008, la Secretaría de Transportes y Tránsito llevó a cabo algunas mediciones preliminares con el propósito de estimar sus efectos en la movilidad de algunos puntos críticos de la ciudad. Así, el estudio realizado<sup>5</sup> presenta los siguientes resultados.

En este informe se presentan distintos análisis para valorar la medida del Pico y Placa como son: el cualitativo para identificar la apreciación de la ciudadanía en general, el cuantitativo respecto a volúmenes vehiculares y longitud de filas.

El objetivo principal es identificar las variaciones en la circulación de los vehículos durante el primer mes de implementación de la nueva medida del Pico y Placa.

### Resultados Encuesta INVAMER – GOLLUP

Los siguientes resultados son obtenidos a partir de una encuesta realizada por el grupo INVAMER – GOLLUP sobre el tema del Pico y Placa del segundo semestre en la ciudad de Medellín.

#### Pregunta 1:

En su concepto después de la implementación del Pico y Placa de dos días en la ciudad de Medellín, ¿la congestión vehicular mejoró, en términos de disminución?

- Mejorando 38% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 52%)
- Empeorando 7% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 6%)
- Están iguales 45% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 35%)
- No sabe/No opina 10%

---

5 Primer análisis de la medida Pico y Placa. Valoraciones de la medida desde los puntos de vista de tránsito. Secretaría de Transportes y Tránsito - Álvarez, 2008.

Pregunta 2:

Independientemente de su aprobación o no, en su concepto, ¿cuáles son las principales ventajas que tiene la nueva implementación de dos días a la semana del Pico y Placa en Medellín?

Disminuye el tráfico y la congestión en vías 54% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 67%)

Ayuda a la preservación del aire y del medio ambiente 26% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 33%)

Se disminuyen los accidentes de tránsito 8% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 6%)

Disminuye el tiempo de transporte 5% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 6%)

Hay un mayor uso del transporte público 4% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 2%)

Pregunta 3:

Independientemente de su aprobación o no, en su concepto, ¿cuál es el principal problema que tiene la nueva implementación de dos días a la semana del Pico y Placa en Medellín?

Se afecta la economía de algunos sectores de la ciudad 26% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 17%)

Aumenta sus gastos de transporte 11% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 17%)

El transporte público se vuelve más congestionado 11% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 13%)

Aumenta el tráfico y la congestión en vías 8% (opinión de personas con un vehículo en el hogar: 10%)

La mayoría de las personas con vehículo percibe positivamente los cambios generados por el Pico y Placa de dos días, sienten que la ciudad está más descongestionada. Sin embargo, la percepción acerca de disminuciones en el tiempo de transporte particular y público es muy baja.

Aunque son más las personas que consideran que la situación actual en términos de congestión vehicular está mejorando, hay un porcentaje importante que no percibe ningún cambio, sea este positivo o negativo.

La perspectiva de los transportadores

La mesa de trabajo del Transporte Público Colectivo bajo la presidencia del Sr. Efraín Galeano Lujan respalda el Pico y Placa de dos días mediante el siguiente comunicado.

Después de un mes de pedagogía, este lunes primero de septiembre comienza en firme la aplicación del pico y placa para vehículos particulares durante dos días.

La medida que ha sido evaluada por la administración municipal, como exitosa, cuenta con el respaldo del gremio del transporte público colectivo, el cual califica como positivo el impacto que se ha logrado en las calles de la ciudad.

Al tiempo que se respalda la medida, la Industria del Transporte invita a la utilización del servicio público colectivo, pues este se encuentra preparado para atender esta nueva demanda generada por los ciudadanos quienes deben prescindir de sus vehículos particulares durante el pico y placa.

La industria del transporte viene realizando inversiones cuantiosas para mejorar el parque automotor existente en las empresas, todo para brindar un excelente servicio a sus usuarios. Por tal motivo la invitación también es a conocer mucho más las rutas en cada uno de los barrios, para que el transporte público colectivo, se convierta en parte de la solución a la aplicación de la medida.

#### Estimación de la Longitud de Cola

Se observa una disminución significativa en la longitud de la fila. En promedio se disminuyó en un 28% la longitud de colas<sup>6</sup>, aunque en algunos puntos se pudo apreciar reducciones mayores del orden del 60% los cuales no fueron considerados para el cálculo del promedio. Sin embargo, estos resultados corresponden a un acercamiento a la medición del efecto real del pico y placa modificado.

#### Estimación de Volúmenes Vehiculares

Para obtener la variación en los volúmenes vehiculares se tomaron los datos registrados en las Estaciones Semipermanentes de Conteo con los que cuenta la Secretaría, estos instrumentos cuentan los vehículos que pasan por una calzada durante 24 horas los siete días de la semana. La debilidad de esta fuente de datos está en que no clasifica por tipo de vehículos, contabilizando solamente vehículos mixtos. Aún así, en el C.C. Automotriz se detectó una reducción del 6.7% en los volúmenes vehiculares registrados este año con respecto al anterior para el promedio de un día laboral en este punto. Cabe anotar que los cálculos fueron realizados tomando sólo los días hábiles de la semana que es cuando aplica la medida.

De igual manera, sobre la Avenida Las Vegas con Calle 7 se observaron reducciones en la hora pico de la tarde registran disminuciones del 9% en la calzada oriental y del 16% en la calzada occidental.

---

<sup>6</sup> No se tuvieron en cuenta los valores donde la fila se incrementó, pues se quería observar el efecto de la medida en los puntos donde los volúmenes vehiculares efectivamente disminuyeron.

## 4.2 LOS PEAJES URBANOS Y EL COBRO POR CONGESTIÓN

En términos generales, los peajes están asociados al pago de una tarifa o cargo por el uso de una vía. En el contexto urbano, los peajes son un instrumento prometedor para reducir la congestión disminuyendo los vehículos que circulan en una determinada zona o vías con la consecuente recaudación de recursos para inversión, generalmente, en sistemas de transporte público.

Los cargos por congestión son cobrados electrónicamente mediante dispositivos adosados a los vehículos, una vez el auto ingresa a una zona o vía con peaje el valor del mismo es debitado o facturado al propietario del vehículo. De esta manera el cobro de un cargo por congestión desestimula el uso del vehículo a algunos conductores y otros, en cambio, optan por hacer uso de él pagando la tarifa impuesta. El cobro electrónico tiene la facultad de no detener la circulación de los vehículos, y por ende, no genera más congestión.

Según la teoría económica que justifica el cobro de tarifas de congestión, el objetivo de esta política es lograr que los usuarios sean más conscientes de los costos que ellos se imponen entre sí cuando consumen el bien público durante los picos de demanda, de modo que son obligados a pagar por la congestión adicional que ellos mismos crearon. La tarifa de congestión funciona como una penalidad económica para inducir una distribución espacial y temporal de ese exceso de demanda o bien, provocar el consumo de un bien sustituto que no produce las mismas externalidades, como por ejemplo, viajar al trabajo por un medio de transporte público en lugar de utilizar el automóvil (Button, 1993).

Conforme el uso de tarifas de congestión se ha extendido a nivel mundial, los esquemas utilizados han sido agrupados en cuatro categorías: tarifas de congestión en áreas acordonadas o alrededor de centros de ciudad, tarifas de congestión en corredores o anillos urbanos, tarifas de congestión en vías aisladas y tarifas de congestión en áreas generalizadas (Small y Gómez-Ibañez, 1998).

Como podrá observarse, las distintas experiencias mundiales en la implementación de este tipo de medida, han traído grandes beneficios para las ciudades con altos índices de motorización y donde la movilidad se ha visto afectada por el número de vehículos que circulan, principalmente en las horas de máxima demanda.

#### 4.2.1 Los Peajes Urbanos en ciudades europeas

Estocolmo<sup>7</sup>: Desde febrero de 2006 se está considerando esta medida aunque estudios anteriores datan de 1997. La tarificación por congestión ha sido sugerida por largo tiempo como una medida para resolver los problemas ambientales y de congestión en las regiones urbanas. El argumento prevaleciente es que la tarificación por congestión induce un uso más eficiente de la infraestructura existente, mientras que también genera ingresos que pueden ser usados para inversiones en infraestructura vial y sistemas de transporte público. Para Estocolmo se determinó que sólo el 5-10% de los viajes de la región estarían afectados por el peaje (10-20% de todos los viajes en auto). En la evaluación del esquema de tarificación propuesto para Estocolmo se desea predecir tan precisamente como sea posible los efectos de la distribución para los diferentes grupos de individuos. El sistema de cobro analizado está definido por dos líneas cordón en la zona central de la ciudad. A todos los vehículos que pasen estas líneas en cualquier dirección se les cobra una tarifa definida así: 15 SEK<sup>8</sup> durante las horas pico (7-9am y 4-7pm), 10 SEK en horas intermedias (9am – 4pm). Otro corredor de importancia se trató de manera separada instalando un solo punto de cobro para flujos en ambas direcciones pero sólo durante las horas pico de 45 SEK si se dirige al centro y 15 SEK si se sigue por la vía arteria. En otros horarios las tarifas impuestas serían 30 y 0 SEK respectivamente.

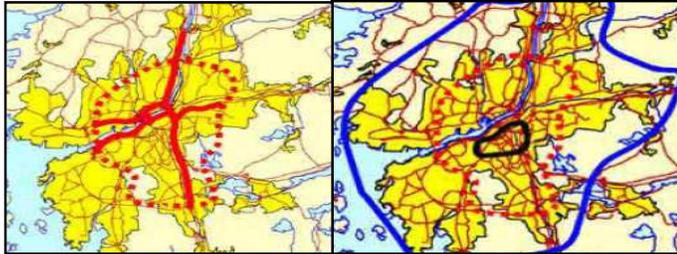
Goteborg: Similarmente a Estocolmo, los estudios preliminares datan de 1997, desde entonces, el debate político se ha centrado en la posibilidad de introducir un sistema de tarificación del uso de las vías con el fin de regular la congestión para crear espacios más accesibles y sostenibles. Sin embargo, toda medida de tarificación se encontró con una fuerte oposición por parte de la ciudadanía. Este tema aún sigue abierto para proyectos de investigación, los cuales tienen como principales objetivos: (1) Determinar el efecto de dos distintos escenarios de peaje urbano sobre la demanda de desplazamientos y sobre la elección del modo de desplazamiento, (2) Realizar un análisis profundo del comportamiento del usuario, para entender su percepción de la estrategia de peaje urbano y la interface con la que se implementa (equipamiento de los vehículos).

---

<sup>7</sup> J. Eliasson, L.-G. Mattsson (2006) "Equity effects of congestion pricing. Quantitative methodology and a case study for Stockholm". Transportation Research Part A 40, 602-620

<sup>8</sup> Unidad monetaria en Estocolmo. 1 Corona (SEK) en el 2006 se cotizó en promedio a 0.1446 dólares americanos.

**Figura 3.** Esquema de peaje urbano basado en las trayectorias de congestión (por corredores) y en trayectorias de circulación (zonal).

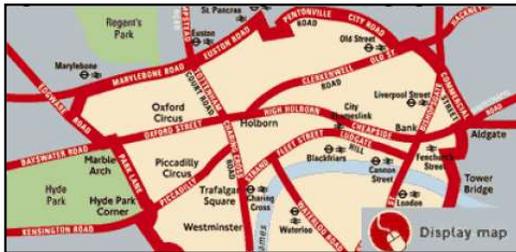


FUENTE: [www.progress-project.org/](http://www.progress-project.org/)

Oslo, Bergen y Trondheim<sup>9</sup>: En estas ciudades noruegas se han implementado este tipo de esquemas los cuales han demostrado gran efectividad como mecanismo de gestión del tránsito y como generador de fondos para proveer de nuevas infraestructuras y adecuaciones del sistema público.

Londres<sup>10</sup>: El sistema de cobro fue introducido en el centro de la ciudad con una extensión de 21 km<sup>2</sup> en febrero de 2003. El período de cobro en días laborales es de 7:00am a 6:30pm iniciando con una tarifa de 5 \$Libras<sup>11</sup> (8 dólares americanos) a 8 \$Libras para el año 2005. Los residentes del área de cobro reciben un 90% de descuento.

**Figura 4.** Área de cobro en el centro de Londres.



FUENTE: London Congestion Pricing: Implications for Other Cities. [www.vtpi.org](http://www.vtpi.org)

El área de cobro está indicada por señales verticales en la vía y símbolos pintados sobre la superficie de rodadura. Ver Figura 5.

<sup>9</sup> Ministry of Transport. Auckland Road Pricing Evaluation Study. <http://www.transport.govt.nz/arpes-index/>

<sup>10</sup> Litman, Todd (2006) "London Congestion Pricing. Implications for others cities". Victoria Transport Policy Institute, Cánada.

<sup>11</sup> Una libra esterlina para el año 2003 se cotizó a 1.5941 dólares americanos.

**Figura 5.** Señales y símbolos entrando al área de cobro.



FUENTE: London Congestion Pricing: Implications for Other Cities. [www.vtpi.org](http://www.vtpi.org)

Antes del inicio del programa de peaje urbano en el 2003, cerca de un millón de personas ingresaban al centro de la ciudad en el período pico de la mañana, de las cuales el 85% lo hacían en transporte público y un 12% en vehículo particular. Durante los primeros meses de instalado el sistema, el tránsito de automóviles se redujo en un 20% equivalentes a 20.000 vehículos por día. Esto significó incrementos considerables en la velocidad dentro de la zona cercanos al 37%. Por otro lado, las demoras por congestión dentro de la hora pico disminuyeron entre un 30-50%, esto trajo como consecuencia una reducción del orden del 20-40% en la tarifa del taxi dada la reducción en las demoras. Durante el esquema inicial de tarificación pudieron invertirse cerca de 20 a 30 millones de libras en el transporte público<sup>12</sup>.

Copenhague: El reparto modal del tránsito es de un tercio para cada modo de transporte (vehículo particular, transporte público y bicicleta-a pie). Esta ciudad se encuentra con el problema de que por razones medioambientales no es aconsejable aumentar el número de carreteras.

**Figura 6.** Red de autopistas y carreteras regionales.



FUENTE: [www.progress-project.org/](http://www.progress-project.org/)

---

<sup>12</sup> Newbery, D. (2005) "Road pricing: Lessons from London". University of Cambridge. Economic Policy 42<sup>nd</sup> Panel Meeting. <http://www.electricitypolicy.org.uk>

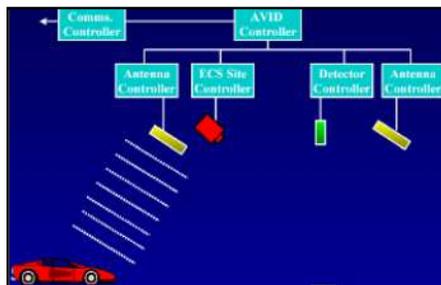
En el año 1999 fue aceptada una propuesta de un esquema de peaje urbano. De esta propuesta evolucionaron dos sistemas de peaje: un sistema zonal basado en un condón y un sistema a distancia basado en tecnología GPS.

Otras ciudades europeas como Briston (UK), Edimburgo (UK), Roma (ITA), Génova (ITA) y Helsinki (FIN) han vivido procesos similares en los últimos años.

#### 4.2.2 Los Peajes Urbanos en otras ciudades

Singapur<sup>13</sup>: Hay una larga experiencia en tarifación vial urbana. Desde el año 1975 hasta el 1998 operó un sistema tradicional de cobro que luego fue cambiado por uno electrónico. Con el paso de los años el sistema fue expandiendo su alcance afectando más tipos de vehículos, mayores períodos de tiempo y mayor área de influencia. El sistema electrónico implementado permite un cobro automático a los vehículos que ingresan al área restringida sin necesidad de detenciones o generación de colas. La aplicación del cobro rige durante los días laborales durante la mayor parte del día (7:30am – 7:00pm), con un periodo libre de cobro de 10am – 12m. Otras vías tienen cobro sólo durante el período pico de la mañana (7:30am – 9:30am). La ventaja del sistema electrónico es que hace posible variar la tarifa dependiendo de la locación, período del día y tipo de vehículo, lo cual permite relacionarlo con el nivel de congestión actual. La máxima tarifa para automóviles es de S\$3.00<sup>14</sup> en vías rápidas y S\$2.50 en el área restringida. El indicador del nivel de servicio del sistema fue definido como un rango de velocidad de 45-65 km/h para vías rápidas y de 20-30 km/h para arterias y vías que cruzan el área restringida. A partir de 1998 se observaron disminuciones en el volumen de tránsito de cerca del 15%.

Figura 7. Sistema electrónico de recaudo.



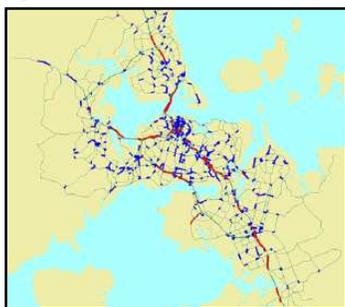
FUENTE: Ministerio de Transportes Holandés.

<sup>13</sup>P. Olszewski, L. Xie (2005) "Modelling effects of road pricing on traffic in Singapore" Transportation Research Part A 39 p 755-772

<sup>14</sup> Unidad monetaria en Singapur. 1 Dólar de Singapur (S) se cotizó en promedio a 0.5401 dólares americanos en el año 2002.

Auckland, Nueva Zelanda<sup>15</sup>: El sistema de tarificación vial urbana se comenzó a evaluar en marzo de 2004. En el estudio está estructurado con un cordón sencillo, un cordón doble y un área restringida donde el cobro se hace una vez para todo el día. También evaluó una malla vial donde el cobro se hace por km dependiendo del nivel de servicio que tenga la vía, si el NS es alto se cobra más que por un NS bajo. La reducción de la congestión de acuerdo a los análisis hechos es mayor en el período pico de la mañana que el período pico de la tarde aunque los valores encontrados no difieren considerablemente. Estas reducciones se encuentran por el orden del 5.2%.

**Figura 8.** Puntos de la malla vial congestionada de Auckland.



FUENTE: Auckland Road Pricing Evaluation Study. [www.transport.govt.nz/arpes-index/](http://www.transport.govt.nz/arpes-index/)

Hong Kong: En 1985 se realizó una prueba piloto que demostró la viabilidad de la implantación de un sistema electrónico, pero pese a esto el sistema falló por distintas situaciones (inauguración de un tren de alta capacidad, un nuevo corredor y caída de la economía). Otro efecto negativo, a pesar de un incremento de la velocidad de 20 a 28 km/h, comenzó un incremento excesivo de taxis debido a que estos vehículos no pagaban peaje, llegando a un punto en el que los taxis provocaban más congestión que los vehículos particulares. Además, la situación política que atravesaba entonces Hong Kong no era la más adecuada para su implantación, debido a problemas de soberanía con China, por lo que la implantación de circuitos cerrados de televisión en los lugares públicos no fue bien interpretada.

Santiago de Chile: La Autopista Central fue la primera autopista urbana en América Latina en operar bajo el régimen de concesión utilizando el sistema de uso de cobro electrónico, así evitaba detener los vehículos dentro del área central comercial de la ciudad. Esta vía hace parte de una red de autopistas diseñadas o concebidas como vías rápidas (expresas) para favorecer desplazamientos con tiempos de viajes mínimos y sin afectaciones por congestión. Su sistema de cobro es totalmente electrónico, el cual utiliza dispositivos en los vehículos y pórticos con antenas sobre la autopista. Este

---

<sup>15</sup> Ministry of Transport. Auckland Road Pricing Evaluation Study. <http://www.transport.govt.nz/arpes-index/>

dispositivo está diseñado para que emita un pitido cuando el cobro haya sido exitoso. Ver Figura 9.

**Figura 9.** Un Tag chileno (dispositivo de cobro) adosado al parabrisas de un automóvil.



FUENTE: [http://es.wikipedia.org/wiki/Free\\_flow](http://es.wikipedia.org/wiki/Free_flow)

El cobro de la tarifa del peaje está asociado a la distancia recorrida (km) entre los tramos con detectores (pórticos), al día de la semana (laboral o festivo), al tipo de vehículo (liviano o pesado) y a la hora (pico o valle).

**Figura 10.** Autopista Central en Santiago de Chile. Ubicación de pórticos para cobro electrónico.



FUENTE: <http://www.autopistacentral.cl/index.php>

Otras experiencias latinoamericanas han tenido lugar en Argentina, Brasil y México.

## 5 METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos se hace necesario seguir ciertas pautas o pasos dentro de la investigación, de esta manera partiendo de un conocimiento más avanzado de las teorías y modelos involucrados, así como de la problemática misma, se alcanzará un buen desarrollo del estudio.

Para esto, está implícito el manejo de información proveniente de la Encuesta Origen y Destino 2005 (EOD 2005), estudios de la medida del Pico y Placa y de los datos obtenidos a partir de la encuesta de preferencias declaradas. Así mismo, dentro de la metodología se hace fundamental explorar las posibilidades de movilidad de los conductores de vehículo particular a partir de un grupo focal y encuestas a profundidad.

Se tendrá en cuenta previamente el estado del arte como ayuda metodológica y de modelación para el tema de la investigación.

### 5.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Como punto de partida para la investigación es conveniente conocer el estado del arte en el tema de estudio, se consultarán estudios y tesis sobre modelos desagregados, que tratan de obtener predicciones agregadas del comportamiento global de los individuos en la población objeto de estudio desde una perspectiva desagregada.

### 5.2 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA

Se determinará la representatividad de la población de conductores según la EOD 2005, estratificando de acuerdo a distintas particularidades. También se dispondrá de la información y resultados contenidos en los estudios realizados sobre el Pico y Placa en la ciudad de Medellín y el Plan de Movilidad.

### 5.3 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA

La información requerida se divide en dos componentes básicos: uno de carácter cualitativo y otro de carácter cuantitativo. El primer componente corresponde a la recolección de apreciaciones individuales y colectivas de los usuarios de automóvil que hacen uso del vehículo para sus viajes cotidianos o frecuentes con motivo de viaje trabajo. El segundo componente hace parte de los datos de preferencias declaradas recolectados por medio de encuestas.

Para la identificación de la información primaria requerida de carácter cuantitativo, se diseñaron tres grupos de preguntas que debieron ser respondidas en un orden establecido con el fin de evitar sesgos en las respuestas que pudieran afectar el modelo.

FASE UNO: Corresponde a preguntas filtro para identificar un potencial usuario a ser encuestado.

FASE DOS: Corresponde a las preguntas de la encuesta de preferencias declaradas.

FASE TRES: Corresponde a preguntas que buscan caracterizar al individuo.

#### Preguntas FASE UNO

1. ¿Utiliza usted el automóvil para realizar sus viajes frecuentes?
2. En caso afirmativo se le pregunta: ¿Sus viajes frecuentes o cotidianos son con motivo de trabajo o estudio? (Aunque este trabajo se centra en los viajes con motivo de trabajo por tener horarios regulares y porque generalmente el Pico y Placa afecta a las personas tanto en la mañana como en la tarde, se quiso indagar cuántos de esos viajes frecuentes tenían motivo estudio aunque no se consideraran para la modelación).

Si la persona responde que utiliza el auto para ir al trabajo, se continúa con la fase dos de preguntas. En el Anexo I se puede encontrar los formatos utilizados para realizar el cuestionario de Preferencias Declaradas.

Una vez respondida la Encuesta de Preferencias Declaradas se pasa a la fase tres de Caracterización del Individuo cuyo formato se encuentra también en dicho anexo.

#### Preguntas FASE DOS

La opción de evadir el Pico y Placa pagando un cargo por congestión aplicará SÓLO para UNO de los dos días en que toca la restricción. Ejemplo: Si a un usuario le toca miércoles y viernes, el puede escoger si se libra del pico y placa el miércoles ó el viernes. Las encuestas se realizaron a usuarios del vehículo particular que realizan sus viajes frecuentes en la ciudad de Medellín, es decir, usuarios afectados por la medida del Pico y Placa.

Para la realización de estas encuestas se utilizó la opción vía correo electrónico, lo cual implica considerar aspectos como capacitación o introducción al encuestado y una interfaz agradable y sencilla para dar respuesta a la encuesta, asegurándose que sólo sea respondida por usuarios de automóvil. Este método resultó ser eficaz en el momento de comenzar la etapa del procesamiento de la información, de igual manera se realizaron encuestas a través de medios físicos como tradicionalmente se acostumbra.

De acuerdo a la revisión bibliográfica y a discusiones sobre el tema de la investigación, se identificaron cuatro atributos: Tiempo de Viaje (TV), Costo de usar el modo (C), Tiempo de Espera (TE) y el Cargo por Congestión (CC).

Atributos como seguridad, estatus y confort son explorados por medio de entrevistas y en grupos de discusión.

Según Carson et al (1994) el número de atributos a considerar en el diseño de la encuesta de preferencias declaradas no debe ser muy elevado (no más de cuatro) por cada juego a fin de evitar el efecto fatiga o que contesten de manera lexicográfica (Saelensminde, 1999).

#### Preguntas FASE TRES

La importancia de la tipificación del usuario de vehículo particular está en identificar aspectos relevantes y característicos del usuario de automóvil con base en un análisis estadístico de variables socioeconómicas e identificar estadísticamente conclusiones de interés. Parte de la información primaria recopilada tiene ese enfoque cualitativo, la cual es útil para conocer las perspectivas de las personas acerca del tema de estudio: sus opiniones a favor y en contra, y sus apreciaciones en cuanto a variables o aspectos no considerados dentro de la modelación. Este componente cualitativo está conformado por un grupo focal y cinco encuestas a profundidad.

En el componente de carácter cualitativo se redactó un guión para la ejecución de las entrevistas a profundidad, conformado por cinco preguntas abiertas que generen una respuesta esporádica y natural.

El guión de las entrevistas a profundidad junto con sus transcripciones está contenido en el Anexo D.

## **5.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA**

Con el propósito de modelar la elección de los conductores en el Pico y Placa en la ciudad de Medellín en el Valle de Aburrá, se transformará la información recolectada a datos de entradas del modelo específico para esta investigación. En esta etapa de la metodología se realizarán las siguientes actividades:

- Formulación del modelo
- Selección de las variables explicativas
- Selección de los bloques de encuestas
- Depuración del modelo
- Corrida del modelo con el software Biogeme

Luego de obtener los datos de preferencias declaradas se realizó un análisis estadístico de las respuestas dadas por los encuestados a preguntas de carácter socioeconómico, laboral y de hábitos.

Paralelamente, se analizaron los comentarios recopilados dentro de la investigación cualitativa, los cuales brindarán información que valide algunas de las conclusiones obtenidas dentro de la modelación (componente cuantitativo).

## 6 MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 6.1 LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA

“La investigación cualitativa ayuda a comprender el despliegue de los procesos sociales logrando demostrar cómo las personas y los grupos viven. La investigación cualitativa puede mostrar una visión más holística y más global de la realidad social: está inmersa en el tiempo real de las personas, no el tiempo experimental del laboratorio” (Deslauries, 2004).

Los métodos cualitativos de investigación son métodos exploratorios que permiten reconocer las diversas dimensiones del tema de estudio en un contexto más amplio y real sin que las metodologías de carácter cuantitativo pierdan validez.

En la actualidad la hegemonía de los métodos tradicionales de investigación, como son los utilizados en tesis de índole técnico o ingenieril, limitan a los investigadores de otras estrategias para aproximarse a la realidad del objeto de estudio.

Los métodos cualitativos se han articulado en un paradigma de orientación fenomenológica que suscribe una perspectiva multicultural y la aceptación de múltiples realidades. Según ese paradigma, las personas actúan guiadas por sus percepciones individuales y tales acciones tienen consecuencias reales. Por consiguiente, la realidad subjetiva que cada individuo ve, no es menos real que una realidad definida y medida objetivamente (Fetterman, 1989).

Los métodos cualitativos de investigación han demostrado ser efectivos para estudiar la vida de las personas, la historia, el comportamiento, el funcionamiento organizacional, los movimientos sociales, y las relaciones interaccionales (Strauss y Corbin, 1990).

#### La validez y la confiabilidad en la investigación cualitativa

La validez y la confiabilidad son los criterios claves mediante los cuales se puede evaluar una particular metodología.

La validez no es un concepto absoluto, sino que está determinado por el contexto situacional y el uso para el cual se determina la prueba (Cirino, 1984; Cronbach, 1960). En este sentido, más que con un número, la validez tiene que ver con la verdad, con la fuerza, y con el valor del trabajo científico. La validez es como la integridad, como el carácter, o la calidad de una cosa, que deben ser determinados en relación al propósito y las circunstancias en las que ocurren (Brinberg y McGrath, 1985).

En fin, la validez y la confiabilidad no son algo que uno pueda adquirir mediante el uso de un conjunto de técnicas particulares, sino un concepto que designa un estado ideal al que debe aspirar todo esfuerzo por descubrir y producir el conocimiento.

En resumen, la investigación cualitativa valora las perspectivas de los investigados sobre sus mundos y busca descubrir esas perspectivas; requiere la inmersión del investigador en la vida cotidiana de su objeto de estudio; visualiza la investigación como un proceso interactivo entre el investigador y el investigado; y es principalmente descriptiva y depende de las palabras y los comportamientos de las personas como fuente de datos primarios (Marshall y Rossman, 1989).

### **6.1.1 Entrevistas a profundidad**

La entrevista a profundidad es una técnica de investigación cualitativa que pretende indagar en los gustos y preferencias de un individuo. Estas entrevistas se dan entre dos personas: un entrevistador y el entrevistado. El entrevistador no necesariamente es la persona a cargo del proyecto o quien tenga el más amplio conocimiento sobre el tema, generalmente es quien planificó el esquema de la entrevista y quien diseñó las preguntas que se le realizarán al entrevistado. Esta última persona hace parte de la población que se desea estudiar.

Habitualmente, estas dos personas no se conocen entre sí, y para dar inicio a este tipo de entrevistas, el entrevistador introduce un tópico o tema a tratar y luego comienza con el cuestionario que previamente tiene diseñado.

Para que este tipo de investigación tenga efecto y sirva como parámetro para otros tipos de investigaciones de carácter más cuantitativo, el entrevistador debe escuchar con atención las respuestas que le son suministradas y analizarlas según el tipo de individuo que está entrevistando. Para esto, se utilizan generalmente grabadoras o filmadoras que registren minuto a minuto las observaciones y discursos presentados.

Las entrevistas son, por naturaleza, encuentros sociales donde los individuos que intervienen colaboran en la producción de retrospectivas o acciones futuras a partir de sus experiencias, sentimientos y pensamientos.

#### La lista inicial de preguntas

Una vez que haya iniciado la entrevista, el entrevistador debe considerar cuales serán los tópicos que quiere cubrir con ese individuo específico. Existe una variada bibliografía en este tema como Mason (1996) y Warren (2002).

El contenido de la lista de preguntas debe generarse en mediación con el problema que se está investigando y las demás aspectos que se desean cubrir con la entrevista.

#### La interacción en las entrevistas

La gran mayoría de las discusiones metodológicas acerca de la conducta del entrevistador conduce a dos prácticas que pueden ser definidas como: confiabilidad y neutralidad. Según Ackroyd y Hughes (1992), el entrevistador debe transmitir confianza y generar un ambiente en el que el entrevistado se sienta cómodo, de esa manera éste se sentirá en confianza de hablar acerca del tema. El segundo aspecto es la neutralidad, al carecer de ella, el entrevistador puede contaminar los datos al influenciar el discurso del entrevistado.

Johnson (2002) argumenta que las entrevistas a profundidad difieren de otros métodos de investigación cualitativa al involucrar de manera más intensa al entrevistador y de generar un progresivo crecimiento en la relación de ambos individuos.

### **6.1.2 Grupos focales**

El Grupo Focal es una de las técnicas para recopilar información de los métodos cualitativos de investigación. Un grupo focal puede definirse como una discusión cuidadosamente diseñada para obtener las percepciones sobre una particular área de interés (Krueger, 1991).

Las técnicas de grupos focales han sido tratadas por diversos autores y publicaciones desde los años 50 desde el estudio clásico hecho por Merton et al (1956) hasta su aplicación en ciencias sociales y estudios de mercado.

Según Krueger (1991), la entrevista de grupo focal funciona porque incide en las tendencias humanas.

La evidencia de los grupos focales sugiere que las opiniones de un individuo pueden cambiar en el curso de la discusión con otros porque las personas influyen las unas a las otras por medio de sus comentarios. Los analistas de grupos focales pueden descubrir más información sobre cómo dicho cambio ocurrió y la naturaleza de los factores influyentes. De esta manera el científico tiene la posibilidad de influir en el cambio por voluntad propia (Krueger, 1991).

Según Reyes (2000), estos deben ser lo suficientemente pequeños como para permitir la oportunidad a cada participante de compartir su discernimiento de las cosas, y a la vez lo suficientemente grande como para proveer diversidad de percepciones.

Los procedimientos cualitativos como los grupos focales o las entrevistas individuales, capacitan al investigador para alinearse con el participante y descubrir cómo la persona ve la realidad. Al igual que otros procedimientos de las ciencias sociales, la validez de los grupos focales depende de los procedimientos usados y del contexto donde son usados. Entre las ventajas de los grupos focales están las siguientes:

- Los grupos focales son socialmente orientados y sitúan a los participantes en situaciones reales y naturales versus las condiciones rígidamente estructuradas de las situaciones experimentales.
- El formato de las discusiones en los grupos focales le ofrece al Facilitador o Moderador la flexibilidad necesaria para explorar asuntos que no hayan sido anticipados.
- Los grupos focales poseen validez aparente, la técnica es fácil de entender y los resultados son creíbles para los usuarios de la información.
- El costo de las discusiones de grupo focal es relativamente bajo.
- Los grupos focales son ágiles en la producción de sus resultados.
- Los grupos focales le permiten al investigador aumentar la muestra de estudio sin aumentar dramáticamente el tiempo de investigación.

## 6.2 LA MODELACIÓN DE LA DEMANDA<sup>16</sup>

El problema de modelar la demanda de transporte se fue resolviendo progresivamente en forma más satisfactoria a través de las cuatro últimas décadas, hasta establecer una metodología a la que generalmente se reconoce como enfoque clásico. Esta considera el problema del transporte como un proceso secuencial en que interactúan diferentes submodelos: generación-atracción de viajes, distribución, reparto modal y asignación de tráfico a la red (últimamente se ha añadido, al menos en concepto, la elección de la hora del viaje). La entrada de estos modelos está constituida por variables de naturaleza agregada que están relacionadas con el comportamiento conjunto de un determinado grupo de individuos. Estos modelos, también llamados de primera generación, no han estado exentos de crítica, debido principalmente a su poca flexibilidad, escasa precisión, elevado costo y a su débil orientación a la toma de decisiones políticas (Ortúzar & Willumsen, 1994).

La necesidad de superar las obvias deficiencias del enfoque clásico en los años 70 dio lugar a la aparición de los modelos desagregados o de segunda generación. Estos entienden el problema de modelación de demanda en transporte como el resultado de una serie de decisiones tomadas por cada individuo particular, que se enfrenta a un conjunto de alternativas y que elegirá aquella que maximice su utilidad dadas sus restricciones (costo, tiempo, etc.). Los

---

<sup>16</sup>Ortúzar y Román (2003) "El problema de la modelación de la demanda desde una perspectiva desagregada: el caso del transporte" Revista eure (Vol. XXIX, N° 88), pp. 149-171, Santiago de Chile.

modelos de este tipo son denominados por Domencich y McFadden (1975) modelos de comportamiento, debido a que, a diferencia del enfoque tradicional, no están basados en una visión descriptiva de la demanda, sino más bien tratan de representar explícitamente el comportamiento de los individuos reflejando la demanda desagregada o a nivel individual. En este sentido, es preciso considerar un enfoque analítico alternativo al modelo clásico del comportamiento del consumidor.

### 6.2.1 Los modelos de elección discreta<sup>17</sup>

En el campo de la modelación del transporte, se han utilizado los modelos de elección discreta para abordar las elecciones modales, tratando de representar el comportamiento de un individuo que debe realizar una elección dentro de un conjunto de alternativas (por ejemplo autobús, metro o coche) para realizar un desplazamiento. El enfoque habitual es el de la maximización de la utilidad aleatoria, en el que se parte de que el individuo escoge siempre la alternativa del conjunto disponible que le supone una mayor utilidad. Desde el punto de vista del analista esta utilidad  $U$  no es conocida, y se divide en una componente determinística  $V$ , que puede ser observada, y una componente estocástica  $\varepsilon$ , que recoge todo aquello que el modelador no es capaz de observar pero que influye en la utilidad. Debe señalarse que descomponer la utilidad en una componente determinista y un error aleatorio es una especificación general, ya que se define  $\varepsilon$  como la diferencia entre el valor real de la utilidad y el valor que observa el analista. De este modo, las características de  $\varepsilon$  van a depender de la forma en la que el analista haya representado la elección. El error no está definido para una situación de elección en sí, sino para la especificación que se haya realizado de esa situación. Si el analista fuese capaz de determinar con absoluta precisión el valor de todas las variables que explican la conducta del elector, así como la forma precisa en la que influyen, el valor del error sería cero. Si únicamente fuese debido a los errores de medición de las variables podría ser un simple "ruido blanco". En la medida en que este error se deba a la ausencia en el modelo de variables explicativas o a diferencias en la especificación de la influencia de éstas en el comportamiento, la distribución de estos errores y las correlaciones entre los errores de las distintas alternativas, los distintos individuos o las elecciones de un mismo individuo podrán ser diferentes (Train, 2003).

En la práctica los modelos más usados son el logit multinomial (MNL) y el logit jerárquico (NL), que son relativamente sencillos de estimar y presentan la ventaja de que disponen de una formulación cerrada para el cálculo de probabilidades. Sin embargo, estos modelos parten de unas hipótesis restrictivas sobre la estructura de los errores, la homogeneidad de la población y los patrones de

---

<sup>17</sup> Orro y García ((2004) "Modelos logit mixto para la elección modal. Posibilidades y precauciones". CIT, España.

sustitución. Se han desarrollado modelos menos restrictivos, tales como otros modelos de valor extremo generalizados (GEV) más complejos que el NL y el modelo probit, pero las dificultades para su especificación y estimación han limitado su uso.

En los últimos años, se ha puesto de moda en la literatura científica sobre este ámbito el modelo logit mixto. Se le denomina “el modelo del futuro”, afirmando que casi cualquier estructura de error deseable puede ser representada por este modelo (Walker, Ben-Akiva, Bolduc, 2003). McFadden y Train (2000) han demostrado que cualquier modelo de utilidad aleatoria puede ser aproximado con el grado de aproximación que se desee mediante un modelo logit mixto. Además, los procedimientos de simulación han permitido que la integración de la función de probabilidad necesaria en estos modelos ya no sea un obstáculo. Luego de presentar los conceptos de los modelos de elección discreta dados por Orro y García (2004) se puede concluir que los modelos de elección discreta permiten estudiar aquellas decisiones donde una persona ha de elegir entre varias posibles. Usualmente se supone una decisión (elección), donde existe un número de alternativas finitas y sólo es posible elegir una de ellas. Para el caso de estudio, esos tipos de decisiones están ligados al horario para realizar un viaje; si se realiza antes, durante o después del periodo en el cual aplica la tarifa del peaje dentro de las zonas restringidas, partiendo del supuesto que cualquier ruta escogida tiene restricción en el periodo establecido.

**Tabla 5.** Clasificación de los modelos de elección discreta.

Nº de alternativas	Tipo de alternativas	Tipo de función	El regresor se refiere a:	
			Características (de los individuos)	Atributos (de las alternativas)
Modelos de respuesta dicotómica (2 alternativas)	Complementarias	Lineal	Modelo de Probabilidad Lineal Truncado	
		Logística	Modelo Logit	
		Normal tipificada	Modelo Probit	
Modelos de respuesta múltiple (más de 2 alternativas)	No ordenadas	Logística	Logit Multinomial	Logit Condicional
			- Logit Anidado	- Logit Anidado
		- Logit Mixto	- Logit Mixto	
	Normal tipificada	Probit Multinomial	Probit Condicional	
	Probit Multivariante	Probit Multivariante		
Ordenadas	Logística	Logit Ordenado		
	Normal tipificada	Probit Ordenado		

FUENTE: Medina M., Eva (2003) “Modelos de Elección Discreta”  
[www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/eva/pdf/logit.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/pdf/logit.pdf)

Según Álvarez y Munizaga (2001) los modelos Logit Mixtos (Mixed Logit, ML, MXL) nacen de suponer una función de utilidad  $U_{in}$  conformada por una componente determinística  $V_{in}$ , una componente aleatoria  $e_{in}$  independiente e idénticamente distribuida, y uno o más términos aleatorios adicionales. Estos términos de error adicionales pueden ser agrupados en un término aditivo  $\eta_{in}$ ,

que puede ser función de datos observados de la alternativa, y que permite recoger la presencia de correlación y heteroscedasticidad. Así, la función de utilidad queda definida como:

**Ecuación 1** 
$$U_{in} = V_{in} + \eta_{in} + \varepsilon_{in}$$

donde  $\varepsilon_{in} \sim \text{Gumbel}(0, \lambda)$  y  $\eta_{in} \sim f(\eta/\theta^*)$ , donde  $f$  es una función densidad general y  $\theta^*$  son parámetros fijos que la describen (e.g. media y varianza)<sup>1</sup>. Como  $\varepsilon$  es iid Gumbel, entonces la probabilidad condicional en  $h$  de que el individuo  $n$  escoja la alternativa  $i$  corresponde exactamente a un modelo Logit Multinomial (MNL):

**Ecuación 2** 
$$P_n(i/\eta) = \frac{\exp(V_{in} + \eta_{in})}{\sum_{j=1}^{J_n} \exp(V_{jn} + \eta_{jn})}$$

Para obtenerse la probabilidad de elegir la alternativa, debe evaluarse la expresión anterior sobre todos los valores posibles  $\eta$ , lo que corresponde a la integral de la probabilidad condicional por la función densidad del término aleatorio  $\eta$ , esto es:

**Ecuación 3** 
$$P_{in} = \int P_n(i/\eta) f(\eta/\theta^*) d\eta$$

### 6.2.1.1 El proceso de elección<sup>18</sup>

Una elección puede analizarse como una secuencia de decisiones que incluya los siguientes pasos (Ben-Akiva y Lerman, 1985):

1. Definición del problema de elección
2. Generación de alternativas
3. Evaluación de los atributos de las alternativas
4. Elección
5. Ejecución de la alternativa elegida

Es evidente que los individuos no realizan este proceso siempre que deben efectuar una elección, sino que pueden omitirlo y tomar una decisión, por

---

<sup>18</sup> Orro Arcay, Alfonso (2005) "Modelos de elección discreta en transportes con coeficientes aleatorios" Universidad de A Coruña.

ejemplo, por hábito, convencionalismo social, intuición, etc. En cualquier caso, estos comportamientos podrían describirse mediante un proceso de elección en el que el decisor generase una única alternativa.

Las reglas de decisión describen el mecanismo interno que utiliza el decisor para procesar la información disponible y alcanzar una elección única. Existen numerosas reglas de decisión propuestas (Foerster, 1979), que se pueden clasificar en las siguientes categorías (Ben-Akiva y Lerman, 1985):

Dominancia: una alternativa es dominante respecto a otra si al menos un atributo es mejor y en los demás no es peor. Esta regla puede no conducir a una elección única. Puede añadirse complejidad definiendo un rango de indiferencia (umbral mínimo de diferencia de valores para considerar un atributo mejor que otro).

Satisfacción: para cada atributo se considera un umbral mínimo de satisfacción para el individuo, una alternativa puede ser eliminada si no alcanza este mínimo para algún atributo.

Reglas lexicográficas: se supone que los atributos están ordenados por importancia, de modo que el individuo elige la alternativa que tiene el mayor valor en el atributo más importante, en caso de igualdad se pasa al siguiente atributo (del mismo modo que se realiza el orden alfabético de las palabras en los diccionarios). También se puede utilizar esta regla para ir eliminando las alternativas peores en cada atributo por orden de importancia.

Eliminación por aspectos: es la combinación de las reglas lexicográficas y de satisfacción. El individuo comienza por el atributo más importante y elimina las alternativas que no alcanzan su umbral de satisfacción, si todavía hay varias alternativas disponibles pasa al siguiente atributo en importancia. Tversky (1972), Batley y Daly (2004) plantean la equivalencia de este tipo de elección con la maximización de la utilidad aleatoria que se expone a continuación.

Utilidad: se considera que los atributos son conmensurables y que el atractivo de una alternativa, expresado por un vector de valores de los atributos, se puede expresar mediante un escalar, denominado en general utilidad. El individuo buscará maximizar esta utilidad (o minimizar sus costes). Esta regla implica un comportamiento de tipo compensatorio, en el que una disminución en un atributo puede ser compensada por una mejora en otro (al contrario de lo que sucedía con las reglas anteriores).

Este comportamiento hipotético de maximización de la utilidad es el que ha fundamentado casi todo el desarrollo de los modelos de elección en transportes, si bien los últimos estudios están tratando de incluir otras reglas (véase Cantillo y Ortúzar, 2005, para una revisión de estudios en esta línea y una propuesta concreta). Para la detección de elecciones que no siguen los principios de

máxima utilidad, especialmente con datos de preferencias declaradas, puede consultarse Saelesmide (2002) y Rouwendal y de Blaeij (2004).

### 6.2.1.2 La teoría de la utilidad aleatoria<sup>19</sup>

La teoría de la utilidad aleatoria postula que:

- Los individuos pertenecen a cierta población homogénea  $Q$ , actúan en forma racional y tienen información perfecta.
- Existe un conjunto  $A = \{A_1, \dots, A_i, \dots, A_j\}$  de alternativas disponibles y un conjunto  $X$  de vectores, que incluyen las características de los individuos y de las alternativas. Así el conjunto de alternativas disponibles para un individuo  $q$  en particular es  $A(q)$  y va a tener asociado un conjunto de atributos  $x \in X$ .
- Cada alternativa  $A_i \in A$  tiene asociada una utilidad  $U_{iq}$  para el individuo  $q$ . El modelador, al ser un observador, no posee información completa de todos los factores considerados por los individuos al realizar su elección; por tanto, supone que esta utilidad se puede representar por dos componentes:

Una parte determinística, llamada utilidad sistemática o representativa  $V_{iq}$  que es función de los atributos medidos  $X$ . En general se utiliza una

función aditiva y lineal en los parámetros  $V_{iq} = \sum_{k=1}^K \theta_{ikq} X_{ikq}$ , donde  $X_{ikq}$

representa el valor del atributo  $k$  de la alternativa  $A_i$  para el individuo  $q$ .

Se supone que los parámetros  $\theta$  son constantes para todos los individuos pudiendo variar entre alternativas; éstos se obtienen mediante un proceso de estimación, donde las observaciones de las elecciones realizadas por una muestra de individuos se ajusta al modelo, típicamente mediante el método de máxima verosimilitud.

Una parte aleatoria  $\varepsilon_{iq}$ , que refleja la idiosincrasia y gustos particulares de cada individuo, además de errores de medición y observación por parte del modelador. En general se supone que los residuos  $\varepsilon$  son variables aleatorias con media cero y una distribución de probabilidad a especificar. Así se tiene:

$$\text{Ecuación 4} \quad U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq}$$

---

<sup>19</sup> Ortúzar (2000) "Modelos Económicos de Elección Discreta". Ediciones Universidad Católica de Chile.

El individuo  $q$  escoge la alternativa de máxima utilidad, esto es, escoge  $A_i$  si y sólo si se cumple:  $U_{iq} \geq U_{jq} \quad \forall A_j \in A(q)$

Expresado en las componentes,  $V_{iq} - V_{jq} \geq \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq} \quad \forall A_j \in A(q)$ . Como no se conoce  $\varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq}$ , no es posible determinar si se cumple la relación anterior, por lo tanto se asignan probabilidades. Así la probabilidad de que el individuo  $q$  escoja la alternativa  $i$  es:

$$\text{Ecuación 5} \quad P_{iq} = \text{Pr ob} \{ \varepsilon_{jq} \leq \varepsilon_{iq} + (V_{iq} - V_{jq}), \forall A_j \in A(q) \}$$

si  $f(\varepsilon) = f(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_N)$ , es la función distribución de las variables aleatorias, se tiene:

$$\text{Ecuación 6} \quad P_{iq} = \int_{\varepsilon_{iq}=-\infty}^{\infty} \int_{\varepsilon_{1q}=-\infty}^{V_{iq}-V_{1q}+\varepsilon_{iq}} \dots \int_{\varepsilon_{Nq}=-\infty}^{V_{iq}-V_{Nq}+\varepsilon_{iq}} f(\varepsilon_{1q}, \varepsilon_{2q}, \dots, \varepsilon_{Nq}) d\varepsilon_{1q} \dots d\varepsilon_{Nq}$$

Por lo tanto la probabilidad de elección es una integral multidimensional sobre la densidad de la porción no observada de la utilidad, diferentes modelos son obtenidos dependiendo de los supuestos sobre la distribución de los  $\varepsilon$ .

## 6.2.2 La técnica de preferencias declaradas (PD)

La técnica de preferencias declaradas (PD) consiste en el diseño de un conjunto de estímulos que son presentados a la población bajo estudio para obtener sus respuestas respecto de cómo se comportarían bajo estos estímulos. Esta técnica se desarrolló originalmente para estudios de marketing (Green y Rao, 1971) y desde principio de los años 80 se ha desarrollado de manera creciente en los estudios de transportes (Louviere, 1988).

Se destaca que bajo esta aproximación la principal fuente de error se encuentra en la elección o alternativa escogida por el individuo, en tanto que los estudios tradicionales de preferencias reveladas (PR) la fuente de error se encuentra principalmente en los atributos que caracterizan a las alternativas. En este contexto surge el procedimiento de estimación mixta (Morikawa, 1989), que no es otra cosa que combinar datos de distinta naturaleza, como son: datos de PD con datos de PR, pero reconociendo la naturaleza distinta de los errores. De esta forma, siempre que sea posible combinar ambas fuentes de datos debe preferirse tal opción, para el caso de estudio se requeriría que existiera una ruta tarifada o peaje urbano en la ciudad. Además, las encuestas necesarias para producir datos PR de buena calidad que permitan estimar modelos razonables son caras (Ortúzar, 2000).

Herrera (2005) comenta que las preferencias declaradas presentan una gran desventaja frente a las preferencias reveladas ya que pueden existir grandes diferencias entre lo que los individuos declaran que harían en una determinada situación y lo que realmente harán si ésta se presenta. Además, existen ciertas predisposiciones (errores aleatorios) que pueden distorsionar la información obtenida a través de una encuesta de preferencia declarada.

Se mencionan cuatro tipos de sesgos como responsables de esas distorsiones:

Sesgo de información: El individuo encuestado puede, consciente o inconscientemente, verse tentado a expresar las preferencias que él cree que el encuestador desea recibir.

Sesgo de racionalización: El encuestado puede proporcionar respuestas artificiales en un intento de racionalizar su comportamiento habitual. Esto tiene relación con un fenómeno subconsciente denominado disonancia cognitiva.

Sesgo de política: El encuestado puede responder deliberadamente en forma sesgada con el fin de influir en las decisiones o políticas que él cree que se seguirán sobre la base de los resultados de la encuesta (un ejemplo puede ser el caso de estudio: el cobro de un peaje urbano o cargo por congestión).

Sesgo de no restricción: El encuestado puede responder en forma irreal, si es que no toma en cuenta las restricciones prácticas sobre su comportamiento.

El Diseño de las encuestas de preferencias declaradas (PD)<sup>20</sup> consta de:

### 6.2.2.1 Etapas del diseño

Un experimento de preferencias declaradas consiste en un conjunto de situaciones hipotéticas pero realistas que están definidas por variables que el modelador supone que influyen fuertemente en la decisión de elección. Para crear este conjunto de situaciones en forma satisfactoria, Kocur et al (1982) proponen los siguientes pasos a seguir:

- Identificar el ámbito de elección, los factores a considerar y su rango de variación más probable.
- Preparar una versión inicial de experimento, diseñando un borrador del cuestionario a utilizar como instrumento de medición.

---

<sup>20</sup> Herrera M., Ana P. (2005) "Aplicación de los modelos de elección discreta en el proceso de planeación de transporte". Programa de Investigación en Tránsito y Transporte, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

- Realizar reuniones del tipo grupo focal, a fin de mejorar el cuestionario. En estas reuniones, los participantes deben complementar el cuestionario y exponer sus puntos de vista al respecto, con el propósito de detectar posibles ambigüedades o falencias.
- Evaluar el resultado de la etapa anterior y rediseñar el instrumento de medición.
- Realizar un pre-examen a través de una encuesta piloto, para evaluar los resultados y rediseñar el instrumento, si fuera necesario.

Sin embargo, en estudios en los que se necesita una respuesta rápida, se pueden omitir algunos de los pasos anteriores, o bien realizar algunos de ellos informalmente. En cualquier caso, el primer punto es la clave de un buen diseño y por lo tanto requiere un minucioso análisis.

Conceptualmente, todo diseño experimental de preferencias declaradas consiste en una serie de variables independientes que están relacionadas con una variable dependiente (por ejemplo, la elección modal y la hora de salida). Las variables independientes pueden expresarse tanto en una escala continua (como, por ejemplo, el tiempo de viaje, el costo), como en una escala discreta (por ejemplo, el tipo de servicio). Cada variable independiente es considerada en un cierto número de niveles o condiciones. En general, si  $a$ ,  $b$  y  $c$  son diferentes números de niveles, y hay  $x$  factores con  $a$  niveles, y factores con  $b$  niveles y  $z$  factores con  $c$  niveles, se tendrán  $a^x b^y c^z$  combinaciones posibles, lo cual se denomina un diseño factorial  $a^x b^y c^z$ .

### 6.2.2.2 Efectos principales e interacción

Como se vio en el párrafo anterior, el número de atributos considerados y sus niveles determinan el denominado diseño factorial, para el cual existen tablas que entregan el número de situaciones hipotéticas (opciones) requeridas para los casos más usuales (gran cantidad de diseños con distinto número de atributos y niveles), garantizando la independencia entre las distintas opciones (Kocur et al 1982).

Existen diseños que consideran solamente los efectos principales y diseños que permiten tratar interacciones, es decir, cuando el efecto de dos o más variables no es aditivo sino que existen efectos conjuntos. Ahora bien, el número de combinaciones posibles en un experimento crece en forma exponencial con el número de factores o atributos involucrados.

Por lo tanto, el utilizar diseños factoriales completos (que permite el tratamiento de todas las interacciones posibles) requiere la construcción de una gran cantidad de opciones; por esta razón, los diseños factoriales fraccionales (que

consideran despreciables los productos de algunos o todos los atributos) son utilizados mayoritariamente.

#### Estrategias para reducir el número de opciones

Para resolver el problema de minimizar el número de opciones manteniendo cierta independencia entre los factores, tal que se logre un reducido efecto de las interacciones, Pearmain et al (1991) proponen los siguientes recursos de acción:

- Eliminar las opciones que puedan dominar o ser dominadas por el resto de alternativas disponibles. Esto es, eliminar aquellas opciones cuyos atributos sean siempre mejores (o peores) que los atributos de las restantes, sin posibilidad de establecer algún comparativo capaz de enfrentar al individuo a una decisión de elección. Sin embargo, es conveniente mantener al menos una de las opciones con estas características, a fin de validar la confiabilidad de la respuesta dada por un encuestado, ya que éste debiera actuar en forma lógica.

Por otra parte, si la encuesta es aplicada con la ayuda de un computador, con un programa adecuado se puede aplicar el principio de transitividad para reducir el número de opciones a presentar en la pantalla. Para explicar este principio, supóngase un experimento con cuatro opciones A, B, C y D, las que son presentadas en pares. La opción A domina a la B y la opción C domina a la D. Si el encuestado prefiere la A a la C, el modelador puede asumir que A también será preferida a la D, con lo cual se evita una comparación.

- Separar las opciones en bloques, tal que el conjunto de ellas sea completado por grupos de encuestados, de cada uno respondiendo en subconjunto distinto (llamado bloque), que en suma forman el conjunto total. Así, se mantiene el diseño experimental completo pero se dividen las tareas en distintos grupos de encuestados. El éxito de esta estrategia radica en el supuesto de que las preferencias obtenidas a través de las distintas muestras de individuos serán suficientemente homogéneas, tal que las respuestas puedan ser combinadas entre los subconjuntos de opciones. No obstante, con las diferencias entre los individuos incrementarán el error asociado con los resultados.
- Llevar a cabo una serie de experimentos con cada individuo, ofreciendo diferentes atributos, pero manteniendo al menos un atributo común en todos, para permitir comparaciones relativas de preferencia sobre todos los atributos que están siendo investigados.
- Utilizar diseños factoriales fraccionados. Esta es la solución más común, puesto que permite la incorporación de una cantidad apreciable de atributos y

niveles, sin necesidad de dividir el conjunto de opciones entre los individuos ni requerir más de un diseño experimental. Esta estrategia se basa en el supuesto de que algunas interacciones entre atributos tienen una influencia despreciable en la respuesta (variable dependiente). Sin embargo, pueden existir interacciones significativas.

### 6.2.3 Especificación y Estimación de Modelos<sup>21</sup>

Se desea estimar el conjunto de parámetros  $\theta_q$  que aparecen en la definición de  $V_{ij}$ ; para esto se debe recurrir al método de máxima verosimilitud. La idea detrás del método es la siguiente: "aunque una muestra pueda provenir de distintas poblaciones, existe una para la cual hay mayor probabilidad que esto ocurra".

#### 6.2.3.1 Máxima verosimilitud

La función de verosimilitud puede escribirse en general como:

$$\text{Ecuación 7} \quad L = L(\theta) = \prod_{q=1}^Q \prod_{A_j \in \Delta(q)} P_{jq}^{g_{jq}}$$

Donde  $g_{jq}$  toma el valor de uno si el individuo  $q$  escoge la alternativa  $A_j$  dentro del conjunto de alternativas que tiene disponible  $\Delta(q)$ , y cero en otros casos. A su vez,  $P_{jq}$  es la probabilidad que el individuo  $q$  escoja la alternativa  $j$ ;  $P_{jq}$  depende de la especificación del modelo a calibrar.

Trabajando con su logaritmo, para facilitar el manejo matemático, se tiene que la función a maximizar (función de log-verosimilitud) es:

$$\text{Ecuación 8} \quad \ln L(\theta) = l(\theta) = \sum_{q=1}^Q \sum_{A_j \in \Delta(q)} g_{jq} \ln P_{jq}$$

Maximizando  $l(\theta)$  es posible encontrar un conjunto de estimadores máximo verosímiles  $\hat{\theta}$  que se distribuyen asintóticamente Normal  $(\theta, \underline{V})$ , en que la matriz de covarianza es:

$$\text{Ecuación 9} \quad \underline{V} = - \left\{ E \left[ \frac{\partial^2 l(\theta)}{\partial \theta^2} \right] \right\}^{-1}$$

---

<sup>21</sup> Ortúzar (2000) "Modelos Econométricos de Elección Discreta". Ediciones Universidad Católica de Chile.

Donde  $E(\cdot)$  indica el operador valor esperado. Además,  $-2l(\hat{\theta})$  distribuye asintóticamente  $\chi^2$  con  $Q$  grados de libertad.

Lo anterior implica que aún cuando los estimadores  $\hat{\theta}$  puedan tener sesgo en muestras pequeñas, éste desaparece para muestras ( $Q$ ) suficientemente grandes (cuando es grande depende de cada problema, pero en general basta con un conjunto de datos entre 500 y 1000 observaciones). Ahora bien, aún cuando se cuenta con una expresión explícita para la matriz de covarianza de los parámetros, el cálculo de los parámetros es un proceso iterativo.

### 6.2.3.2 Test estadísticos asociados

En primera instancia se debe verificar la consistencia de los signos de los parámetros acorde con la teoría macroeconómica y las hipótesis de trabajo; para ello tener en cuenta que el parámetro de un atributo corresponde a la utilidad marginal de él. Por otra parte, es posible calcular varios estadígrafos de interés para seleccionar el modelo más adecuado:

#### El test t para significancia de los parámetros $\theta$

Los programas de estimación entregan, en convergencia, la matriz de covarianza que contiene los errores estándar de los parámetros estimados. De este modo, si  $\theta_k=0$ , se puede definir el valor t por:

$$t = \frac{\hat{\theta}_k}{\sigma_{kk}} \sim N(0,1)$$

#### **Ecuación 10**

Con esto es posible testear si  $\theta_k$  es significativamente distinto de cero. Así, si  $t > 1,96$  para un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula  $\theta_k=0$  y se acepta que el atributo  $X_k$  tiene un efecto significativo.

#### El test de razón de verosimilitud

Este test permite comparar dos modelos, siendo uno de ellos una versión restringida del otro, lo cual significa que las diferencias se pueden expresar como un conjunto de  $r$  restricciones lineales. El estadígrafo LR se define:

$$\text{Ecuación 11} \quad LR = -2 \left\{ l(\hat{\theta}_r) - l(\hat{\theta}) \right\}$$

donde  $l(\hat{\theta}_r)$  es la logverosimilitud del modelo restringido y  $l(\hat{\theta})$  la del modelo no restringido, ambas calculadas en convergencia. LR distribuye asintóticamente  $\chi^2$  con  $r$  grados de libertad.

Una práctica usual para verificar el ajuste general de un modelo es realizar el test LR comparando con el modelo equiprobable, según el cual todos los parámetros tienen un valor de cero. A éste modelo corresponde una logverosimilitud  $l(0)$ . Sin embargo, es más conveniente realizar la comparación con el modelo solo constantes, según el cual la utilidad observable para cada alternativa es un valor constante (excepto para una alternativa de referencia en la cual ésta es cero), correspondiendo una logverosimilitud  $l(C)$ .

El índice  $\rho^2$

El índice  $\rho^2$  es un indicador análogo al  $R^2$  en modelos de regresión lineal múltiple. Se calcula así:

$$\text{Ecuación 12} \quad \rho^2 = 1 - \frac{l(\hat{\theta})}{l(0)}$$

Este estadígrafo ha sido mejorado, obteniéndose la siguiente expresión:

$$\text{Ecuación 13} \quad \bar{\rho}^2 = 1 - \frac{l(\hat{\theta})}{l(C)}$$

### 6.3 INVESTIGACIONES EN EL CAMPO DE INTERÉS

#### **On the development of time period and mode choice models for use in large scale modelling forecasting systems (2007)**

Gran parte de los estudios de investigación se están enfocando en comprender la complejidad en la modelación de la elección de hora de salida y modo, estos modelos están contribuyendo sustancialmente a nuestro entendimiento de cómo los viajeros toman sus decisiones. Muchos de estos modelos tienen a ser demasiado complejos. Dos cuestiones importantes deben abordarse en el uso de estos modelos: la especificación utilizada para los períodos de tiempo (en términos de longitud) y el orden de los niveles (nidos), lo que representa la diferencia en la sensibilidad a los cambios en la hora de salida y los cambios en el modo de viajar.

La flexibilidad de los coeficientes aleatorios de los modelos mixed logit está ligado a un alto costo computacional para su estimación debido a la simulación numérica de la cual depende. Este hecho hace que su estimación y aplicación a problemas prácticos sea casi imposible gracias a que los tiempos de corrida del modelo son exageradamente largos.

Modelos de planificación prácticos suelen representar opciones a lo largo de múltiples dimensiones al mismo tiempo, como por ejemplo la elección de modo y hora de salida, para esto se requiere un modelo de varios niveles. En este caso, la principal cuestión que debe abordarse es la elección de cada alternativa con respecto a las demás opciones, esto equivale a una estructura jerárquica con la elección de modo arriba o debajo de la elección de la hora de salida. Además, se requiere múltiples fuentes de datos para incrementar la confiabilidad de los resultados. Una estimación por nidos no es aplicable en el caso de una hora de salida continua, ya que no existe previamente una estructura para agrupar las opciones de salida. Para superar esta dificultad, normalmente se distribuyen términos de componentes de error para ser añadidos a la función de utilidad para pasar de una estructura MNL con componentes de error.

### **Equity effects of congestion pricing. Quantitative methodology and a case study for Stockholm (2006)**

Es ampliamente reconocido que el peaje urbano (o cobro por congestión) podría ser una medida efectiva para resolver los problemas ambientales y de congestión en áreas urbanas. A pesar de esto, la aplicación de peajes urbanos ha sido muy lenta. Una razón para la poca aceptación pública y política se debe a su impacto sobre la equidad.

El método desarrollado involucra simultáneamente diferencias en el comportamiento del viaje, preferencias (como el Valor Subjetivo del Tiempo-VST) y otras alternativas disponibles para el desplazamiento. Se concluye que dos de los más importantes factores para determinar el impacto del peaje urbano son las características del viaje inicial y cómo son usados los ingresos. Diferencias en estos factores se traduce en diferencias en otros factores como el VST.

Se ha sugerido por largo tiempo que el peaje urbano significa resolver problemas ambientales y de congestión en regiones urbanas. El argumento estándar es que el peaje urbano induce un uso más eficiente de la infraestructura, mientras también genera ingresos que pueden, por ejemplo, ser usados para invertir en vías y en sistemas de transporte público.

Los efectos de la equidad son importantes por al menos dos razones. En primer lugar, la magnitud de la redistribución entre distintos grupos puede ser tan grande que empequeñece el beneficio neto de la medida. Puede percibirse que "no vale la pena" cuando sus efectos distributivos superan la mayor eficiencia de la tarificación. Esto es especialmente probable si los niveles de congestión iniciales son bajos o la demanda de viajes sobre la vía es relativamente inelástica. Segundo, el peaje urbano puede ser regresivo, o tener efectos adversos sobre la equidad. Si este es el caso, se dependerá de la calidad de otros modos y en el diseño del peaje. Varios estudios concluyen que

los efectos sobre la equidad dependerán del diseño del cobro del peaje (cuándo y dónde los cargos son recaudados) y a las diferencias socioeconómicas en la característica del viaje (cómo la elección del modo y el destino difieren entre los grupos de ingresos). La pregunta que más se ha estudiado es sí el cobro por congestión beneficiará a los pobres o a los ricos. Diferentes estudios han llegado a diferentes conclusiones, esto depende en gran medida de las suposiciones hechas acerca de las preferencias del viaje y el comportamiento de los diferentes grupos socioeconómicos.

Algunos académicos han argumentado que los cargos por congestión serán regresivos, ya que las personas con ingresos altos tienen un valor del tiempo mayor y, por lo tanto, a menudo sienten que vale la pena pagar el cobro. Otros estudios indican que éstos serían los más afectados pues utilizan con más frecuencia el auto y probablemente viven en zonas con escaso acceso al transporte público. De igual forma, las personas con bajo nivel de ingresos sufrirán más los cargos por congestión, ya que por lo general tienen menor posibilidad de decidir su hora de inicio de trabajo y por ello, no puede evitar los cobros durante los períodos picos. Otros autores han afirmado que las personas con bajos niveles de ingresos se beneficiarían más con la medida. Estas opiniones indican que es difícil llegar a conclusiones claras con relación al efecto producido por la fijación de un cobro por congestión.

Los modelos utilizados no tienen plenamente en cuenta las diferencias en los valores del tiempo y los efectos en la hora de salida. Algo común en todos los estudios es que las diferencias en los beneficios y los costos directos entre los grupos socioeconómicos son bastante pequeños. Por lo tanto, puede ser más importante para la cuestión de la equidad el cómo se benefician los distintos grupos del uso de los ingresos recaudados.

Efectos del cobro por congestión:

- Altos costos de viaje para quienes viajan en auto durante la aplicación del cobro.
- Cambio en el comportamiento del viaje para evitar los cobros.
- Tiempos de viaje más cortos para los que viajan en auto y en los horarios y zonas del peaje. En algunos casos el tiempo de viaje puede aumentar debido al efecto de la elección de ruta.
- Generación de recaudo, el cual puede invertirse en nuevas vías, en la mejora del transporte público (beneficia a los pobres), disminución de impuestos (beneficia a los ricos) o aumento del gasto público.

El efecto de estos cuatro componentes deciden el costo o beneficio individual de la medida.

## 7 DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MOTORIZACIÓN AÑO 2005 A 2008

La siguiente información tiene como propósito visualizar la distribución del parque automotor de vehículos livianos y su crecimiento durante los últimos años. Sus resultados son tomados de datos muestrales extraídos de la Encuesta Origen Destino de Viajes realizada por la Universidad Nacional de Colombia en el año 2005.

Del total de vehículos que arroja la encuesta, el número de automóviles por macrozonas está distribuido así: el 66.9% de los autos del Municipio de Medellín se distribuyen así: 33,3% en Poblado, 17,6% en Laureles, 16% en Belén. El 33.1% restante en las demás comunas.

La Tabla 6 muestra el número de automóviles por estrato para Medellín y el Área Metropolitana en el año 2005.

**Tabla 6.** Número de automóviles por estrato socioeconómico (2005).

Tenencia de autos según los estratos (sólo Medellín)		Tenencia de autos según los estratos (AMVA)	
Estrato	Porcentaje	Estrato	Porcentaje
1	0,39%	1	0,60%
2	5,09%	2	8,00%
3	19,99%	3	25,10%
4	19,57%	4	19,70%
5	25,39%	5	23,00%
6	29,57%	6	23,60%
Total	100,00%	Total	100,00%
Número de autos: 136.719		Número de autos: 172.943	

FUENTE: Elaboración propia.

Si sumamos los autos que se encuentran en los demás municipios del Área Metropolitana, tal como se hizo en la EOD 2005, los porcentajes de tenencia de auto por estrato varían considerablemente al comparar la tenencia de autos sólo en Medellín, al tener en cuenta a todos los municipios del AMVA los estratos más bajos obtienen un porcentaje mayor de posesión de vehículo y los más altos el porcentaje disminuye.

El parque automotor matriculado en el Área Metropolitana para finales del año 2007 es del orden de 700.000 vehículos según la información suministrada por las diferentes Secretarías de Transportes y Tránsito. La Tabla 7 muestra la tasa de motorización por estrato obtenida con los datos de la EOD 2005.

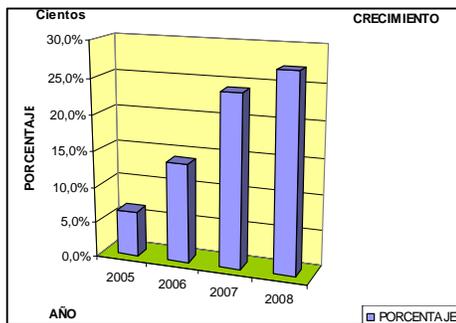
**Tabla 7.** Motorización por estrato.

Estrato	Tasa Motorización (autos por hogar)
1	0,02
2	0,04
3	0,14
4	0,40
5	0,74
6	1,58
Total	0,20

FUENTE: EOD 2005

Finalmente, de acuerdo con las bases de datos de la Secretaría de Transportes y Tránsito, la tasa de crecimiento de los vehículos matriculados en los últimos años ha ido incrementándose a valores muy altos, aunque estas cifras muestran el desempeño de la Secretaría en cuanto a trámites y operación, es claro que cada año circulan más vehículos en la ciudad. Ver Figura 11.

**Figura 11.** Porcentaje de incremento de vehículos matriculados por año desde el año 2005 a mayo de 2008.



FUENTE: Secretaría de Transportes y Tránsito de Medellín, 2008

## 7.2 SITUACIÓN EN EL AÑO 2008

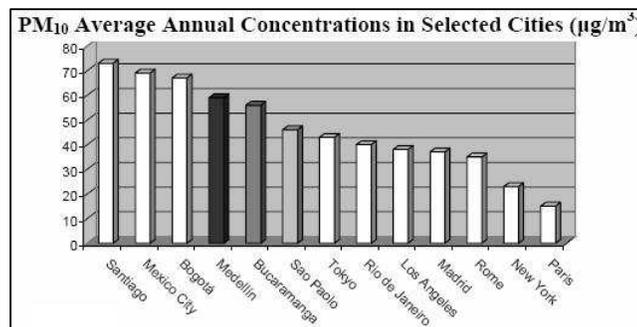
Medellín cuenta con 2.290.831 habitantes en el 2008 (según proyecciones del DANE) y hace parte de un Área Metropolitana de 3.450.049 de habitantes, la congestión vehicular ha sido un fenómeno constante limitando la movilidad principalmente en las vías arteriales y puntos neurálgicos de la ciudad. Este

hecho ha sido el origen de medidas restrictivas ya implementadas como el Pico y Placa, el cual busca disminuir el número de vehículos que circulan por la malla vial durante las horas de mayor flujo vehicular.

En vista del continuo aumento del parque automotor, el factor ambiental de la ciudad está siendo cada vez más afectado, por ello el tema sigue cobrando mayor interés dada la gran cantidad de agentes contaminantes que actúan en la atmósfera y en la salud humana; como material particulado, gases (producto de la combustión interna de los vehículos) y aumento en los niveles de ruido.

Según estudio realizado por el banco Mundial sobre la calidad del aire de diferentes ciudades del mundo que están siendo monitoreadas, la ciudad de Medellín es la cuarta más contaminada por encima de Los Ángeles, Tokio o Roma con mayor producción industrial y transporte, Transporte Público y Privado. Ver Figura 12.

**Figura 12.** Promedio anual de concentraciones de PM10 en varias ciudades.



FUENTE: Estudio Banco Mundial "Mitigating Environmental Degradation to Foster Growth and Reduce Inequality".

Según los datos con que cuenta la Secretaría de Transportes y Tránsito (2008), en la actualidad el transporte público colectivo del Municipio de Medellín, es atendido por 43 empresas transportadoras y un parque automotor estimado de 4.508 vehículos, de los cuales 3.261 son buses o busetas y 1.247 son micros.

En el contexto de región metropolitana, la ciudad de Medellín es el principal generador y atractor de viajes del Valle del Aburrá.

Según el Plan Maestro de Movilidad<sup>22</sup>, la movilidad es un medio para permitir a los ciudadanos, comunidad y empresas acceder a la multiplicidad de servicios, equipamientos y oportunidades que ofrece la región. Es bien sabido que la satisfacción de estas necesidades debe favorecerse desde el sector público combinando de manera adecuada políticas de accesibilidad y de movilidad.

---

<sup>22</sup> Formulación del Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Consorcio Movilidad Regional CMR. Área Metropolitana.

Las primeras actúan desde el urbanismo, favoreciendo la implantación de actividades y usos del suelo en condiciones de proximidad, de manera que se disminuya en lo posible las necesidades de desplazarse a largas distancias. Las segundas actúan desde el transporte, ofreciendo entre otros, sistemas de transporte público adecuados para las demandas que se generan. Las políticas de movilidad urbana no pueden ignorar la importancia del automóvil y los desafíos que plantea su uso en las ciudades.

Otras ciudades han logrado diseñar un plan de movilidad eficiente y flexible que paulatinamente han dejado de proporcionarle al vehículo particular los mayores beneficios de circulación. El desarrollo y avance en este sentido se está dando al brindarle al transporte público mayores ventajas y competitividad con el fin de hacerlo atractivo a los usuarios de vehículos particulares.

A continuación se extraen de la EOD 2005 los resultados obtenidos de la movilidad del Valle del Aburrá para el año 2005: En la EOD 2005 se observa cómo de los viajes motorizados son 3,2 millones de viajes (69% del total), en el valle de Aburra, la mitad se realizan en bus como modo principal. También es notorio que el transporte público colectivo (bus y Metro) movilizan un 59% de los viajes motorizados, y que si se le suman los del taxi, el transporte público mueve un 68% de los viajes motorizados de la Región, el doble de lo que mueve el transporte privado. Esta cifra debe ser clara en cualquier política de espacio vial que se dedica a los diferentes modos, pues aunque el transporte público es más eficiente en el consumo de espacio, y no requiere el mismo porcentaje de lo que mueve, si debería priorizarse según estas cifras. Las Tablas 8 y 9 presentan la distribución de viajes en los modos motorizados del Valle de Aburrá.

**Tabla 8.** Distribución de viajes en los modos motorizados del Valle de Aburrá 2005.

MODO MOTORIZADO	VIAJES	%
Bus	1.593.017	50%
Auto	597.473	19%
Metro	303.272	9%
Taxi	300.548	9%
Moto	228.194	7%
Otros	195.292	6%
TOTAL	3.217.797	100%

FUENTE: EOD 2005

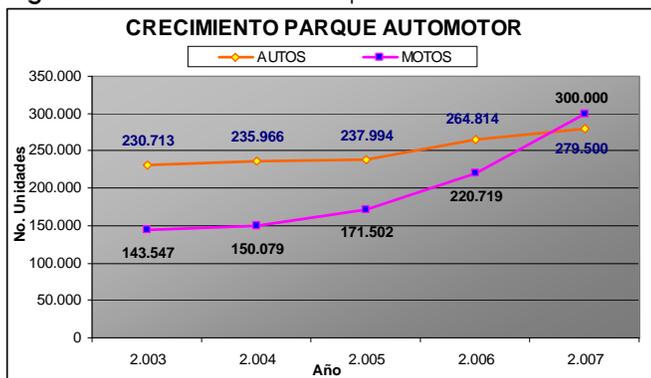
**Tabla 9.** Distribución de viajes de modos motorizados del Valle de Aburrá 2005.

MODOS AGREGADOS	Viajes	% del total	
Modos motorizados	3.217.797	69%	100%
Modos no motorizados	1.466.592	31%	
MODOS MOTORIZADOS	Viajes	% de los motorizados	
Transporte público colectivo	1.896.289	59%	68%
Transporte público individual	300.548	9%	
Transporte privado	825.667	26%	32%
Otros transportes terrestres	195.292	6%	

FUENTE: EOD 2005

En la Figura 13, se presenta el crecimiento del parque automotor en los últimos años en el Valle de Aburrá.

**Figura 13.** Crecimiento del Parque Automotor – Automóviles y Motos del Valle de Aburrá.



FUENTE: Secretaría de Transportes y Tránsito, 2008.

## 8 ESTUDIO DE CASO: LA ELECCIÓN DE MODO Y HORA DE SALIDA

### 8.1 LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA EN LA DETERMINACIÓN DE OTRAS VARIABLES EXPLICATIVAS

En este capítulo se pretende explorar la percepción de los usuarios de automóvil particular frente al uso del vehículo y sus opciones de movilidad frente a situaciones reales e hipotéticas, como lo es la medida del Pico y Placa que rige en la ciudad de Medellín y la implementación de un sistema de gestión de la movilidad que involucra el cobro de un cargo por congestión a través de un peaje urbano que cubriría la malla vial principal durante los períodos de máxima demanda.

Parte de la exploración radica en identificar las razones a favor o en contra del cobro por congestión y la manera en éstos pueden o no estar cautivos al uso del automóvil.

#### 8.1.1 Análisis del Grupo Focal

El grupo focal fue realizado el día 12 de diciembre de 2008 en la Escuela de Ingeniería de Antioquia con estudiantes de la Especialización en Gestión y Procesos Urbanos, este grupo fue moderado por el profesor Iván Sarmiento asesor en el tema de movilidad. Los participantes son profesionales en la planificación de infraestructura y urbanismo.

Se define el tema enfocado en el objeto de la investigación y se crea una discusión tipo debate en el que dos grupos defienden una posición a favor y en contra de la situación planteada "Pico y Placa combinado con Peaje Urbano".

Como era de esperarse las opiniones son diversas en cuanto a la viabilidad y beneficio de la medida, en este aspecto salen a relucir opiniones desfavorables en cuanto a lo excluyente que puede ser para usuarios con bajo nivel de ingreso.

¿Qué opción tienen las personas de bajos recursos que adquirieron un vehículo y que no tienen la posibilidad económica de pagar un peaje pero tienen la necesidad de salir?. (Damary Murillo, Arquitecta, 27 años)

Al de bajos recursos le toca hacer lo mismo que está haciendo ahora, dejar el carro o salir más temprano. (Lina Jiménez, Arquitecta – Constructora, 28 años)

Los que trabajan con el vehículo sufren de exclusión. (Dagoberto Rojas, Abogado, 50 años)

Sobre el uso y conveniencia de la recaudación de fondos a través de esta medida se observa que las opiniones son muy divididas. Algunos piensan que si el dinero recaudado se va a invertir en infraestructura vial entonces con eso se estaría promoviendo el uso del vehículo particular aunque hay mayor aceptación si los recursos son utilizados para mejorar el transporte público.

Es una oportunidad para recaudar recursos pero realmente no le aporta en nada a la ciudad. Esto es similar a un régimen subsidiado, cobrarle al rico para poder subsidiar el transporte público a los pobres. En Colombia se acostumbra a hacer esto para todo, como por ejemplo vivienda y servicios públicos. (Damary Murillo, Arquitecta, 27 años)

Si se genera mayor infraestructura vial con los recursos captados por el peaje, entonces van a haber más carros. Si los recursos van a servir para construir más infraestructura vial, ¿cómo va a ser eso si Medellín no tiene para donde crecer? Lo único viable sería generar un sistema de transporte masivo accesible a toda la comunidad. (Lina Jiménez, Arquitecta – Constructora, 28 años)

Si la propuesta del recurso captado por el peaje es invertirlo en nuevas vías y mejoramiento vial, entonces lo que se va a promover es un círculo vicioso con nuevo incremento del parque automotor. ¿Qué le aporta a la ciudad cambiar la descongestión y la descontaminación por plata?. (Dagoberto Rojas, Abogado, 50 años)

La medida no es excluyente porque todos salen beneficiados al tener un buen sistema integrado de transporte. El objetivo de la medida no es sólo recaudar recursos sino también disminuir la congestión y mejorar la calidad del aire en la ciudad. (Fredy Cuesta, Ing. Ambiental, 26 años)

El tema del Pico y Placa es analizado a partir de las percepciones actuales de la medida, es así que, al combinarlo con un Peaje Urbano se discute su aplicabilidad.

Un pico y placa durante todo el día sí sería una medida que funcione. (Lina Jiménez, Arquitecta – Constructora, 28 años)

Hay que poner el peaje en las vías que están congestionadas. Además debe aumentarse el horario de restricción del pico y placa, en esta ciudad el pico y placa es muy cortico y la cuota del peaje tiene que ser alta. El objetivo de este cobro debe ser recaudar

recursos que deben ser invertidos en movilidad. (María Paulina Villa, Arquitecta, 27 años)

En la medida en que aumenten las horas (la extensión) del pico y placa más personas dejarán el vehículo guardado.  
Un peaje urbano podría funcionar siempre que el período de restricción del pico y placa sea más extenso o durante todo el día, de 6 am a 8 pm por ejemplo. (Natalia Álvarez, Arquitecta, 28 años)

### 8.1.2 Análisis de las Encuestas a Profundidad

La selección de la muestra según Agudelo (2007) se hace teniendo en cuenta las consideraciones de Braud (1984, citado por Deslauries, 2004), cuando indica que “se recurre a lo que se llama muestra no probabilística, que busca reproducir lo más fielmente posible la población global teniendo en cuenta las características conocidas de éstas última, indicando además que la muestra no probabilística es intencional, de allí que se definan las personas a entrevistar en función de las características requeridas para el desarrollo de la investigación”.

En total, se realizaron cinco encuestas a cinco mujeres<sup>23</sup> conductoras de vehículo particular, profesionales, laboralmente activas y diferenciadas sólo por su estrato socioeconómico (3, 4, 5 y 6).

A continuación se presentan algunos apartes de las entrevistas acompañado de un breve análisis de los temas de interés a la investigación. Las transcripciones completas se pueden encontrar en el Anexo D.

Los datos indican que las personas con auto no desean abandonar su vehículo, al indagar si esta hipótesis es válida se interrogó al respecto con el objetivo de identificar las razones por las cuales esto podría estar sucediendo. Las respuestas indican que se debe en principalmente por la comodidad que ofrece el automóvil

Por la comodidad y el tiempo que uno reduce a los desplazamientos a los lugares. (Lina María, estrato 4, 37 años)

No, por comodidad, por ejemplo si uno coge el metro pues tiene que caminar algunas veces, complementarse con el bus, en cambio tu coges el carro y llegas directamente al lugar que tu quieres llegar. (María del Carmen, estrato 6, 50 años)

La comodidad es un atributo altamente valorado por los usuarios de vehículo particular, una vez que el usuario se percata del bienestar que éste le genera, dejando a un lado los traumatismos propios del transporte público, difícilmente

---

<sup>23</sup> Que fueran mujeres no indica ninguna intencionalidad, se debió a su aceptación a ser encuestadas.

logra desvincularse del automóvil voluntariamente. Esto está asociado además, a la percepción de seguridad visto como a un aislamiento del exterior y a la tranquilidad por el cubrimiento del seguro. Cuando se pregunta si viajar en auto le genera confort y seguridad se obtienen respuestas como:

(Sí, confort y seguridad porque estoy yo misma en mi carro, no tengo que utilizar el transporte público. (Beatriz, estrato 5, 35 años)

(Sí, porque uno tiene como más manejo de su espacio, de su tiempo y no está expuesto a la parte pública que a veces es un poquito riesgosa. (Lina María, estrato 4, 37 años)

La atractividad del transporte público está sujeta a cambios sustanciales en la forma en cómo opera actualmente, características como la forma de conducción de los "buseros", el número de paradas y hasta el exceso de velocidad, son aspectos importantes a la hora de considerar o no este modo de transporte para sus desplazamientos.

Que pasen más a menudo, que sean más cómodos, que no sean tan a velocidades tan altas o como tan bruscos. (Catalina, estrato 4, 31 años)

Que fuera como de fácil acceso. (Beatriz, estrato 5, 35 años)

El Pico y Placa pretende desincentivar el uso del vehículo particular, pese a esto el grado de afectación de la medida es relativo puesto que muchas actividades laborales han adquirido cierto grado de flexibilidad y han conseguido "hacerle el quite" a la medida. Indagando acerca de si la medida afecta o no el cronograma de viajes diarios, se observa que algunos dicen que no y que buscan acomodar sus horarios y actividades a ese horario, incluso tomando otro medio de transporte. En cambio, es más común encontrar testimonios que expresan su inconformidad puesto que les toca dejar de usar el vehículo dos días a la semana y que eso les genera dificultades en sus desplazamientos, incluyendo madrugar más, tomar taxi o quedarse hasta más tarde en el trabajo.

Mucho, porque uno tiene que estar cambiando el horario de la oficina, pedirle a un compañero que le cambie el turno o hablar con el jefe "no es que tengo pico y placa", una reunión "es que tengo pico y placa". Como a uno no le gusta coger otro medio de transporte entonces busca todas las maneras posibles para que sea en el carro y entonces lo atrasa a uno en muchas cosas. (Juliana, estrato 3, 22 años)

Hasta ahora en nada, porque tengo un horario de trabajo flexible. (Beatriz, estrato 5, 35 años)

Para nada porque yo esos días me organizo con tiempo y esos días yo, o cojo el metro o madrugo más, y cuadro mis vueltas para que no haya ningún inconveniente. (María del Carmen, estrato 6, 50 años)

Estos testimonios muestran que no siempre las personas de alto estrato son las más apegadas al automóvil, en algunos casos son los estratos medio o bajos quienes expresan mayores dificultades para movilizarse en los días de Pico y Placa.

El Pico y Placa de dos días a la semana ha sido considerado como una medida facilista para mitigar el aumento de la congestión en la ciudad. Los beneficios ambientales que pueden generarse con esta medida son pobremente identificados, y en general, es notorio el rechazo a este aumento de la restricción.

Me parece bien, aunque preferiría que fuera un solo día el día entero.  
(María del Carmen, estrato 6, 50 años)

No me parece conveniente, creo que sería mejor un solo día así fuera de pronto una jornada más extensa. (Lina María, estrato 4, 37 años)

Sobre la percepción que tienen las personas del efecto del pico y placa en la congestión, no es tan positiva como podría pensarse, a diferencia de lo que pueden decir las autoridades de tránsito, los usuarios de vehículo particular no notan una mejoría en la movilidad de la ciudad, sienten que está igual, incluso han notado que los picos se han desplazado a otras horas.

Para nada, yo la veo a todo hora congestionada, así me toque pico y placa o no, es lo mismo. (Juliana, estrato 3, 22 años)

Pues en cierta medida, de pronto sí, pero siento muchas veces cuando salgo a las 8:30 am que se está trasladando también esa congestión a esa hora, entonces nos perjudica entonces también en el trabajo, pero la verdad no estoy como muy de acuerdo con la medida. (Catalina, estrato 4, 31 años)

No, sabes porque?, porque lo que hace es que el taco lo pone para cuando el pico y placa para, o sea, a las 8:30 am que tu coges el carro ya hay taco... Yo diría que debería ser todo un día, pero solamente un día a la semana, dos me parece demasiado. (María del Carmen, estrato 6, 50 años)

Pues si fuera todo el día de pronto sí, pero como está hoy no. (Beatriz, estrato 5, 37 años)

Hay quienes insisten en que lo más apropiado es invertir en vías y no en restringir la circulación o simplemente muestran su rechazo rotundo a la medida.

No, pienso que no es una medida adecuada, adicional a eso pienso que la mejor medida sería hacer más vías, es como lo mejor, hacer más vías. (Catalina, estrato 4, 31 años)

No, o sea, ninguna de las dos, no descongestiona con el pico y placa y en esas horas y en todo el día pues si sería pues más que innecesario. (Juliana, estrato 3, 22 años)

Uno de los puntos más importantes en la entrevista consistía en explorar la opinión de las personas acerca de la situación hipotética de un cobro por congestión, el objetivo de las preguntas se fundamentaba en el hecho de que algunos conductores verían atractivo liberarse de la medida, y en este sentido, sería factible indagar acerca de si pagarían o no, cuánto pagarían, en qué condiciones pagarían y cuántos días pagarían al mes.

No tampoco, porque aparte ya nos cobran impuestos, semaforización, un montón de cosas, rodamiento y todo que pues ya, suficiente. No es culpa de nosotros que no sepan controlar el tráfico los propios que manejan pues como el tránsito, entonces no es culpa de los conductores. (Juliana, estrato 3)

No sé, dependiendo de cómo fuera la medida, pero me parece que no es la solución. (Catalina, estrato 4, 31 años)

No, no lo pagaría porque de todas maneras si fuera esa la solución entonces todo el mundo haría el pago y seguiría la misma congestión a todas las horas del día, entonces esa no es una solución valedera para mí. (Lina María, estrato 4, 37 años)

Cómo ninguna de las personas entrevistadas estuvo a favor del cobro por congestión, no fue posible conocer con más profundidad la "conformidad" con la alternativa propuesta.

Por otro lado, y con el propósito de validar en alguna medida la hipótesis que se tenía con relación al estatus que proporciona el automóvil, se preguntó si la tenencia de un vehículo aporta dicha sensación.

Por supuesto. (Lina María, estrato 4, 37 años)

Más que estatus, comodidad. (Beatriz, estrato 5, 35 años)

El uso del transporte público para movilizarse suele pensarse como una tarea difícil e incómoda.

Sí, porque tengo que salir más temprano, a las citas, a la casa, se me restringe mucho el tiempo. (Catalina, estrato 4, 31 años)

Sí, porque me da pereza tener que pedir transporte público. (Beatriz, estrato 5, 37 años)

A veces sí, por las congestiones. Las frecuencias del transporte a veces son demasiado extensas, entonces uno se demora más. (Lina María, estrato 4, 37 años)

## 8.2 LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA COMO MEDIO PARA LA MODELACIÓN DE POLÍTICAS DE MOVILIDAD

### 8.2.1 Metodología para el diseño de encuestas de preferencias declaradas para el caso de estudio

El análisis de las distintas medidas o estrategias que puedan ofrecer alguna mejoría o solución a los problemas de movilidad que actualmente tiene la ciudad de Medellín, así como otras ciudades donde el incremento del parque automotor ha adquirido durante algunos años tasas muy elevadas, es la preocupación principal de esta y muchas otras investigaciones. El uso de técnicas de preferencias declaradas ofrece la posibilidad de estudiar situaciones hipotéticas sin que éstas hayan sido implementadas, siendo esta una de sus principales ventajas.

El caso de estudio combina la medida restrictiva del Pico y Placa con una alternativa de carácter hipotético que afecta a la movilidad, suponiendo que dicha alternativa brindará no sólo beneficios económicos por medio del recaudo de dinero, sino por la disminución de agentes contaminantes como la polución y el ruido. Así, se planteó el cobro por congestión a través de un peaje urbano que brindaría la opción a los usuarios del vehículo particular salir durante el horario del Pico y Placa, en este caso, considerado el horario de restricción de la mañana, dado que intrínsecamente las personas analizan la medida combinada en el horario de salida al trabajo.

El peaje urbano ha generado importantes mejoras en la movilidad en algunas ciudades europeas y asiáticas, y su aplicación en Latinoamérica ya ha dado sus primeros avances. Como política de movilidad, se ha considerado como objeto de estudio en esta investigación, por eso se busca la mejor manera de identificar sus posibilidades dentro del contexto y alcance definidos previamente.

La identificación de variables explicativas se realizó con base en la lectura de casos donde la medida ya fue implementada y con referencia también a la bibliografía existente. Siguiendo el diseño del experimento planteado por Kocur, metodológicamente fueron identificadas cuatro variables o atributos: Tiempo de Viaje (TV), Costo de usar el modo (C), Tiempo de Espera (TE) y el Cargo por Congestión (CC). Los niveles de variación de estos atributos fueron dos o tres dependiendo de la variable, sistemáticamente se le asignó tres niveles (0, 1 y 2) a las variables (TV) y (C) y dos niveles (0 y 1) a (TE) y (CC). Con base en el número de variables y sus niveles se seleccionó el Plan Maestro 3 de las tablas de Kocur (44a) utilizando las columnas 1, 2, 7 y 8. De acuerdo a este diseño del experimento la encuesta tendrá un total de nueve (9) casos.

Alternativas consideradas:

1. BUSMED: Bus y Metro
2. TAXI
3. SPU: Salir en auto durante el pico y placa y pagar el cobro por congestión
4. SAA: Salir en auto antes de que comience a regir la medida del pico y placa
5. SAD: Salir en auto después del pico y placa (una vez finalizado el horario de restricción).

Rangos de variación de las variables explicativas:

El (TV) de la alternativa BUSMED varía entre 35 min y 45 min, este tiempo se determinó con base en las cifras arrojadas por la EOD 2005 donde se calculó que el tiempo de viaje promedio en la ciudad de Medellín es de 30 min. Para el caso del TAXI y los modos en auto (SPU, SAA y SAD), se consideraron los mismos tiempos con una variación entre 15 min y 25 min, puesto que se supone que el taxi, como medio de transporte público individual, se supone que requerirá del mismo tiempo que un vehículo particular para ir de un origen a un destino.

El (C) para la opción BUSMED, varía \$300 en tres niveles, desde \$1600 hasta \$2200. Estas cifras son cercanas a la tarifa actual del tiquete integrado del metro. Para la opción TAXI se tuvo en cuenta la tarifa mínima, el banderazo y el costo por metros recorridos, así, para el diseño de la encuesta se calcularon los costos para distancias recorridas de 3,9 km hasta 6,3 km (\$5000 y \$7000 respectivamente), siendo distancias promedio razonables para un viaje dentro de la ciudad de Medellín. En el caso de las opciones SPU, SAA y SAD se consideraron los mismos costos asociados al uso del vehículos, los cuales van desde \$3000 a \$4000.

El (TE) para el BUSMED se definió con base en las frecuencias de algunas rutas de buses (6 y 8 minutos), para la opción TAXI se calculó a partir de algunos cálculos en campo "esperando taxi" y a mediciones del tiempo de respuesta de un taxi pedido por teléfono (4 y 6 minutos). Para el caso de las alternativas con auto no se tuvo en cuenta esta variable puesto que la disponibilidad del modo es inmediata.

Por último se considero la variable (CC), está únicamente asociada a la alternativa SPU que involucra el pago de un cobro por congestión, sus dos niveles se definieron en \$7000 y \$10000 como costos razonables.

La Tabla 10 presenta las estadísticas básicas de las variables según los valores considerados en el diseño de la encuesta de preferencia declaradas.

**Tabla 10.** Estadísticas básicas de las variables.

Alternativa	Variable	Media	Desv Est
1 BUSMET	TV	40	4,3
	C	1900	259,8
	TE	7	1,1
2 TAXI	TV	18	4,3
	C	5444	866,0
	TE	5	1,0
3 SPU	TV	20	4,3
	C	3500	433,0
	CC	7667	1322,9
4 SAA	TV	20	4,2
	C	3500	462,9
5 SAD	TV	20	4,2
	C	3500	417,3

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 6 se calculó el tamaño y distribución de la muestra para la encuesta, de esta manera se determinó cuántas encuestas realizar por cada estrato socioeconómico puesto que la tenencia de auto varía de acuerdo a esta clasificación acorde a la capacidad adquisitiva y nivel de ingresos. En la Tabla 10 se presenta el tamaño muestral de la encuesta según el estrato para Medellín y el Área Metropolitana. El tamaño muestral está calculado para un total de 100 encuestas.

**Tabla 11.** Tamaño muestral de la encuesta según la tenencia de autos por estrato (Medellín y Área Metropolitana).

Tamaño muestral encuesta según tenencia de autos por estrato (sólo Medellín)			Tamaño muestral encuesta según la tenencia de autos por estrato (AMVA)		
Estrato	Porcentaje	# Encuestas por cada 100	Estrato	Porcentaje	# Encuestas por cada 100
1	0,39%	0	1	0,60%	1
2	5,09%	5	2	8,00%	8
3	19,99%	20	3	25,10%	25
4	19,57%	20	4	19,70%	20
5	25,39%	25	5	23,00%	23
6	29,57%	30	6	23,60%	24
Total	100,00%	100	Total	100,00%	100

FUENTE: Elaboración propia.

Metodológicamente, la captura de la información se realizó por dos medios diferentes, uno por medios electrónicos y otro por el método tradicional Encuestador/Encuestado. De esta forma se obtuvieron un total de 125 encuestas de preferencias declaradas, 73 (tradicional) y 52 (electrónico), 58% y 42% respectivamente. La Tabla 11 muestra el porcentaje de cumplimiento de acuerdo al estrato, se logra observar que para el estrato 1 no fue posible realizar la única encuesta requerida para el tamaño muestral. Sin embargo para los demás estratos se obtuvo más encuestas de las requeridas, este resultado es importante puesto que la depuración de la base de datos hace que el número de observaciones disponibles sea menor.

**Tabla 12.** Porcentaje de cumplimiento del tamaño muestral requerido para la encuesta.

Estrato	# Encuestas requeridas	# Encuestas logradas	Porcentaje de cumplimiento
1	1	0	0%
2	8	11	138%
3	25	38	152%
4	20	23	115%
5	23	27	117%
6	24	24	100%

FUENTE: Elaboración propia.

### 8.2.2 Depuración de la encuesta de preferencias declaradas

Según algunos autores<sup>24</sup>, la teoría del comportamiento del consumidor, las preferencias deben cumplir una serie de supuestos que nos permiten expresarlas a través de una función de utilidad. Si estos supuestos no se cumplen, no sería factible obtener la función de utilidad a partir de las preferencias. Por esta razón es necesario realizar tests que permitan detectar a aquellos individuos que no utilizan una estructura de preferencias que pueda representarse a través de una función de utilidad. Los tests realizados fueron dos: análisis de individuos cautivos (individuos que no consideran el compromiso definido entre las alternativas) y análisis de individuos que eligen de manera lexicográfica (aquellos que violan el axioma de continuidad).

Los datos consolidados iniciales están conformados por 1125 observaciones, de las cuales 63 (7 individuos) respondieron lexicográficamente respecto al costo. De esta manera resultaron 1062 observaciones (118 individuos).

---

<sup>24</sup> Espino, R., Ortúzar, J. de D., Román G., Concepción (2004) "Diseño de preferencias declaradas para analizar la demanda de viajes". Estudios de Economía Aplicada Vol. 22-3, 759 – 793, España.

El análisis de individuos cautivos no fue posible precisarlo debido a que intrínsecamente los conductores de vehículo particular suelen sentirse cautivos a su auto para sus desplazamientos. La cautividad relacionada a otros modos de transporte fue identificada previamente al indagar si la alternativa BUS – METRO era una opción disponible, y con respecto a otras alternativas, estas observaciones hacen parte del objeto de estudio pues analiza el efecto de salir antes o después.

Puesto que siete (7) individuos respondieron que su motivo de viaje más frecuente era estudio, estas observaciones se omitieron dado el carácter y alcance de la investigación, cuyo interés se centra en los viajes al trabajo. En conclusión, la base de datos (observaciones) está conformada por 990 observaciones obtenidas a partir de las respuestas de 110 individuos, puesto que tuvo que eliminarse las observaciones de un individuo al no ser identificadas por el Biogeme.

### 8.2.3 Análisis estadístico de la información recopilada

Una manera de tipificar al usuario de vehículo particular es identificando sus características socioeconómicas y de otra índole, la recolección y análisis de información adicional al objeto principal de esta investigación como lo es la encuesta de preferencias declaradas, hace posible componer algunas comparaciones sistemáticas entre factores como la edad, el sexo, estrato y nivel de ingresos en relación a sus elecciones modales u horarias.

Las siguientes tablas que van de la 12 a la 22, presentan los resultados principales de los datos proporcionados por los encuestados luego de responder la encuesta de preferencias declaradas. Las gráficas relacionadas a estos resultados se pueden observar en el Anexo C.

Alrededor del 62% de los individuos encuestados es de sexo masculino.

**Tabla 13.** Distribución de encuestas por sexo

Respuesta	Conteo	Porcentaje
Mujer	48	38,40%
Hombre	77	61,60%

FUENTE: Elaboración propia.

Cerca del 61% de las personas encuestadas está en el rango de edad entre los 20 y 40 años.

**Tabla 14.** Distribución de encuestas por edad

Respuesta	Conteo	Porcentaje
Menor de 20 años	2	1,60%
Entre 20 y 40 años	76	60,80%
Más de 40 años	47	37,60%

FUENTE: Elaboración propia.

Sólo 7 de los encuestados tiene como motivo de viaje frecuente el estudio.

**Tabla 15.** Distribución de encuestas por motivo de viaje

Respuesta	Conteo	Porcentaje
Estudio	7	5,60%
Trabajo	118	94,40%

FUENTE: Elaboración propia.

Los porcentajes de tenencia de auto por estrato obtenidos son prácticamente los que eran requeridos para la encuesta.

**Tabla 16.** Distribución de encuestas por estrato

Respuesta	Conteo	Porcentaje
1	0	0,00%
2	11	8,80%
3	38	30,40%
4	23	18,40%
5	27	21,60%
6	26	20,80%

FUENTE: Elaboración propia.

El mayor porcentaje de nivel de ingresos corresponde al rango entre \$1.000.000 y \$2.000.000

**Tabla 17.** Distribución de encuestas por nivel de ingresos

Respuesta	Conteo	Porcentaje
\$0 - \$500.000	13	10,40%
\$500.000 - \$1.000.000	16	12,80%
\$1.000.000 - \$2.000.000	33	26,40%
\$2.000.000 - \$4.000.000	48	38,40%
Más de \$4.000.000	15	12,00%

FUENTE: Elaboración propia.

La gran mayoría de los encuestados son empleados y en segundo lugar se encuentran los trabajadores independientes.

**Tabla 18.** Distribución de encuestas por cargo

Respuesta	Conteo	Porcentaje
Empleado	78	62,40%
Alto ejecutivo	8	6,40%
Independiente	32	25,60%
Estudiante	7	5,60%

FUENTE: Elaboración propia.

La mitad de las personas encuestadas declara que tiene flexibilidad en su horario de trabajo.

**Tabla 19.** Distribución de encuestas por flexibilidad

Respuesta	Conteo	Porcentaje
Si	62	49,60%
No	63	50,40%

FUENTE: Elaboración propia.

Aunque la flexibilidad de salir antes o después del pico y placa no difiere mucho en comparación, se concluye que son más las personas que optan por salir antes.

**Tabla 20.** Distribución de encuestas con flexibilidad

Respuesta	Conteo	Porcentaje
Antes	30	24,00%
Después	26	20,80%
No viaja ese día	2	1,60%
Viaja en otro auto	4	3,20%

FUENTE: Elaboración propia.

Más del 68% de los encuestados viaja sólo en su vehículo.

**Tabla 21.** Distribución de encuestas por acompañamiento

Respuesta	Conteo	Porcentaje
Solo(a)	86	68,80%
Acompañado(a)	39	31,20%

FUENTE: Elaboración propia.

Cerca del 77% de los individuos encuestados declaró que sus horas de inicio de actividades están entre las 7:00 am y las 8:00 am, período dentro del horario de aplicación de la medida de Pico y Placa.

**Tabla 22.** Distribución de encuestas por hora de inicio de actividades

Respuesta	Conteo	Porcentaje
04:00	1	0,80%
06:00	9	7,20%
06:30	3	2,40%
07:00	22	17,60%
07:30	49	39,20%
08:00	25	20,00%
08:30	1	0,80%
09:00	6	4,80%
10:00	4	3,20%
12:00	1	0,80%
13:00	1	0,80%
17:00	1	0,80%
No Responde	2	1,60%

FUENTE: Elaboración propia.

Salazar (2008) en una tesis de la Maestría en Infraestructura y Sistemas de Transporte encuestó cerca de 100 personas que tienen auto y van a trabajar al centro de Medellín. Cuando tienen Pico y Placa, un 40% cambia de horario (aproximadamente 20% sale antes y 20% después) y el 60% cambia de modo, principalmente a taxi. Esto muestra que los que trabajan están más dispuestos a cambiar de modo que la mayoría de los conductores en general.

A diferencia de los resultados presentados por Salazar (2008), en esta ocasión la información primaria muestra que el 40,5% de las personas sale antes del Pico y Placa, y sólo el 26% lo hace después.

**Tabla 23.** Porcentaje de elección por alternativa.

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
BUSMET	136	12,1%
TAXI	88	7,8%
SPU	152	13,5%
SAA	456	40,5%
SAD	293	26,0%
Total	1125	100,0%

FUENTE: Elaboración propia.

## 9 FORMULACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL MODELO

### 9.1 ESPECIFICACIÓN DEL MODELO

La estimación del modelo requiere diferencias entre tipos de usuarios del vehículo particular, esta diferenciación está relacionada con el tipo de elección a tomar. Las elecciones posibles se dividen de acuerdo a la escogencia del modo y a la hora de salida.

Cuando existe flexibilidad en el horario, es probable que un individuo opte por elegir salir antes o después de su hora habitual sin cambiar de modo; en cambio, existe la posibilidad de que deba cambiar de modo cuando esa flexibilidad no está disponible, el individuo por lo general debe utilizar otro modo de transporte como bus-metro o taxi.

Para diferenciar estas situaciones se han definido cuatro tipos de usuarios cuyas funciones de utilidad se muestran a continuación:

#### USUARIO TIPO 1

Son individuos que ante la medida del Pico y Placa cambian de modo. La formulación del modelo considera dos opciones (1 – BUSMET, 2 – TAXI).

$$\text{Ecuación 14} \quad U_i = \beta_i + \theta_c C_i + \theta_{tv} TV_i + \theta_{te} TE_i + \varepsilon_i \quad (i = 1, 2)$$

#### USUARIO TIPO 2

Son individuos que ante la medida del Pico y Placa eligen pagar el Cobro por Congestión, ya sea porque no tienen flexibilidad para salir antes o después o porque no desean cambiar de modo de transporte. Es probable que aún teniendo flexibilidad horaria cuenten con los recursos necesarios para pagar el cobro y elijan hacerlo.

$$\text{Ecuación 15} \quad U_3 = \beta_3 + \theta_c C_3 + \theta_{tv} TV_3 + \theta_{te} TE_3 + \theta_{cc} Cc_3 + \varepsilon_3$$

#### USUARIO TIPO 3

Son individuos que eligen viajar antes de que comience a aplicar la medida del Pico y Placa.

**Ecuación 16**  $U_4 = \beta_4 + \theta_c C_4 + \theta_{tv} TV_4 + \theta_{te} TE_4 + \theta_{F1} F_1 + \varepsilon_4$

USUARIO TIPO 4:

Son individuos que eligen viajar una vez ha terminado el horario de restricción de la medida del Pico y Placa, es decir, después.

**Ecuación 17**  $U_5 = \beta_5 + \theta_c C_5 + \theta_{tv} TV_5 + \theta_{te} TE_5 + \theta_{F2} F_2 + \varepsilon_5$

### 9.1.1 Tipos de Variables

Las variables explicativas principales son las especificadas en las formulaciones anteriores. La Tabla 24 presenta su descripción.

**Tabla 24.** Variables explicativas

Tv	Tiempo de Viaje
C	Costo
Te	Tiempo de espera
Cc	Cargo por Congestión

FUENTE: Elaboración propia.

Otras variables se han considerado con el objetivo de analizar su relevancia y significancia en el modelo, éstas se han involucrado a la especificación siguiendo el mismo esquema utilizado en las Ecuaciones 14 a 16. La Tabla 24 las define.

**Tabla 25.** Otras variables

V	Viaja solo o acompañado
Sex	Sexo
I1	Ingresos Bajos (hasta \$2.000.000)
I2	Ingresos Altos (mayores a \$2.000.000)
FLEX	Flexibilidad
F1	Salir Antes
F2	Salir Después
E1	Estratos Medio-Bajo (1, 2, 3, 4)
E2	Estratos Altos (5 y 6)
ED1	Edades hasta 40 años
ED2	Edades mayores a 40 años
Cargo	Cargo laboral

FUENTE: Elaboración propia.

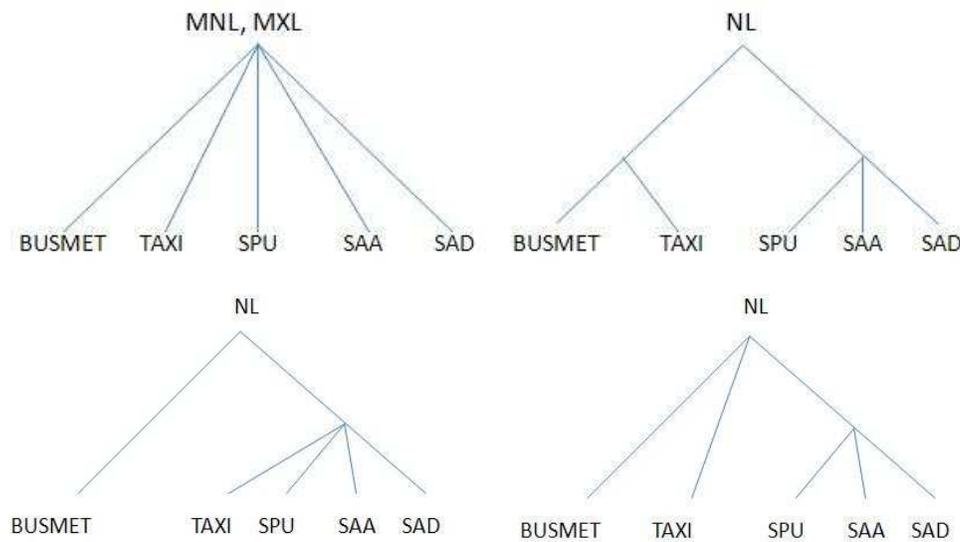
Los  $\beta$  y  $\theta$  corresponden a las constantes específicas (o modales) y a los parámetros a estimar.

### 9.1.2 El tipo de modelo de acuerdo al proceso de elección

El planteamiento del modelo está ligado al proceso de elección acorde al nivel de decisiones, de esta manera, en los modelos tipo Logit Multinomial y Mixtom (MNL y ML respectivamente) se toman las decisiones a un mismo nivel mientras que en los modelos tipo Logit Jerárquico (NL) las decisiones se toman de acuerdo a una estructura jerárquica definida por el modelador.

En la Figura 14 se pueden observar gráficamente estas diferencias.

**Figura 14.** Tipo de modelo según el nivel de decisiones.



FUENTE: Elaboración propia.

Una vez especificados los modelos se prosiguió con la modelación a través del software Biogeme versión 1.8. El primer paso fue modelar, para el mismo modelo, con las dos bases de datos (con y sin lexicográficos) con el objetivo de analizar los resultados y validar la hipótesis sobre la conveniencia de usar bases de datos depuradas. En este sentido los resultados fueron concluyentes al validar la hipótesis.

La estimación de los parámetros se realizó configurando distintas especificaciones sumando o restando variables al modelo, tanto para los MNL como para los modelos MXL con coeficientes aleatorios. Finalmente la

estimación de modelos NL se descartó puesto que colapsaban al uniparámetro MNL.

Para la modelación se comenzó con la especificación más compleja posible, involucrando todas las variables y luego se fueron formulando modelos cada vez más simples como una versión restringida del modelo general. La Tabla 26 presenta los resultados obtenidos para un mismo modelo utilizando diferentes fuentes de datos (con y sin individuos lexicográficos). Se fijó la constante específica de la alternativa más elegida (SAD = Salir en auto antes del pico y placa).

**Tabla 26.** Comparación de resultados según la base de datos utilizada.

Variable	Parámetro	MNL-01(con lexic.)		MNL-01	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T
-	$\beta_1$	3.19	0.00	-0.137	-0.00
-	$\beta_2$	2.20	0.00	-0.647	-0.00
-	$\beta_3$	-0.255	-0.38	-0.140	-0.20
-	$\beta_4$	0.00	-	0.00	-
-	$\beta_5$	7.25	0.47	8.18	0.37
Costo (1, 2, 3, 4, 5)	$\theta_1$	-0.000172	-1.81	-0.000192	-1.97
Tiempo de viaje (1, 2, 3, 4, 5)	$\theta_2$	-0.0515	-4.83		
Tiempo espera (1, 2)	$\theta_3$	0.0509	0.62		
Tiempo agregado (Tv+Te) (1, 2, 3, 4, 5)	$\theta_2$			-0.0557	-4.81
Cobro congestión (3)	$\theta_4$	-0.000218	-2.46	-0.000231	-2.50
Sexo (1, 2, 3, 4)	$\theta_5$	0.675	3.67	0.813	4.38
Ingresos bajos (1, 2)	$\theta_6$	3.24	0.00	0.0338	0.00
Ingresos altos (3, 4, 5)	$\theta_7$	-2.15	-0.00	0.818	0.00
Solo/Acompañado (3, 4, 5)	$\theta_8$	-0.0474	-0.24	0.294	1.38
Flexibilidad (3, 4, 5)	$\theta_9$	-0.199	-0.85	0.0744	0.30
Salir antes (4)	$\theta_{10}$	-0.0489	-0.27	0.135	0.71
Salir después (5)	$\theta_{11}$	-0.321	-1.63	-0.492	-2.40
Edad hasta 40 años (1, 2, 3, 4)	$\theta_{12}$	6.90	0.45	7.69	0.29
Edad mayores de 40 años (1, 2, 3, 4)	$\theta_{13}$	6.91	0.45	7.49	0.30
Cargo (3, 4, 5)	$\theta_{14}$	-0.0177	-0.15	-0.0468	-0.38
Estratos medio-bajo (1, 2)	$\theta_{15}$	-7.60	-0.49	-0.305	-0.00
Estratos altos (1, 2, 3)	$\theta_{16}$	7.95	0.51	0.479	0.00
Razón de Verosimilitud	L $\theta$	-999.423		-899.334	
Rho cuadrado	$\rho^2$	0.318		0.347	

FUENTE: Elaboración propia.

El ranking de modelos procura seleccionar el mejor de los dos en comparación, con el fin de escoger el que por su estructura y resultados ofrezca mayor confiabilidad.

El signo de las variables es consistente para el costo, tiempo de viaje y tiempo de espera (-), edad y estratos altos (+).

El test-t indica que la mayoría de las variables de ambos modelos no son significativas ( $t\text{-test} \geq |1.96|$ ), excepto por las variables explicativas C, Tv, Cc, Sex; y en el caso del MNL-01 también la variable F2. Para el modelo con observaciones lexicográficas la variable Costo no es significativa en un 95% pero sí del 90% que es aceptable, mejorando la fuente de datos esta significancia aumenta al igual que las demás variables significativas.

Comparando los  $\rho^2$  se observa que el modelo con datos depurados (sin observaciones lexicográficas) es mejor,  $\rho^2_{\text{MNL-01}} > \rho^2_{\text{MNL-01 (lexi)}}$ .

Puesto que no se está comparando un modelo restringido con respecto a uno más general, no se realiza el test de razón de verosimilitud.

## 9.2 ESTIMACIÓN DEL MODELO

### 9.2.1 Modelos MNL

Se probaron varios modelos con distintas especificaciones, estos modelos difieren en el número de variables estimadas. Sus valores y correspondientes test-t () se pueden observar en la Tabla 27. Como la variable (Te) en ningún caso dio significativa se definió una nueva variable (Ta) producto de la suma de Tv y Te con el fin de obtener mejores parámetros estadísticos.

Para el ranking de modelos se tienen en cuenta:

- Los signos de las variables: Costo (-), Tiempo agregado (-), Cargo por congestión (-), etc.
- Significancia de las variables:  $t\text{-test} \geq |1.96|$  para un nivel de significancia del 95%. ( $t\text{-test} \geq |1.645|$  para un nivel de significancia del 90%)
- Test estadístico  $\rho^2$ : el de magnitud mayor es mejor
- Test de razón de verosimilitud: con  $X^2_{1,5} = 3.84$

El modelo MNL-01 es el más general de todos puesto que contiene todas las variables, los demás modelos son una versión restringida de este al tener menos variables (no significativas) que el que le antecede. Los signos de todos los parámetros avalan la hipótesis inicial como con el tiempo de viaje y el costo, y

los test t de los modelos 3, 4 y 5 contienen el mayor número de variables significativas y la menor cantidad de no significativas, mientras que los modelos 1 y 2 contienen la mayoría de sus variables no significativas (excepto las explicativas). Siguiendo los criterios de escalonamiento se tiene que los mejores modelos son el 4 y 5 ya que tienen igual número de variables significativas, cuentan con  $\rho^2$  similares, y por último, el test de razón de verosimilitud acepta el modelo restringido. Así, se elige el modelo MNL-05 como el mejor cuyas variables son todas significativas. Nótese que los valores de los parámetros de las variables costo, tiempo de viaje (agregado) y cobro por congestión son los mismos para ambos modelos.

**Tabla 27.** Ranking de modelos MNL.

Ranking	Modelo	Signos Hipótesis	Significancia test t $\geq  1.96 $	$\rho^2$	L( $\theta$ )
1	MNL-05	Si	Si	0.335	-915.890
2	MNL-04	Si	Si	0.336	-915.673
3	MNL-03	Si	Si	0.344	-903.971
4	MNL-01	Si	No	0.347	-899.334
5	MNL-02	Si	No	0.347	-899.780

FUENTE: Elaboración propia.

Realizando un ranking de modelos entre los del tipo Logit Multinomial según los criterios definidos, se tiene que el mejor es el MNL-05 cuya formulación se presenta a continuación:

$$\begin{aligned}
 U_{BUSMET} &= \beta_{BUSMET} + \theta_c C_{BUSMET} + \theta_{Ta} Ta_{BUSMET} + \theta_{SEX} SEX_i \\
 U_{TAXI} &= \beta_{TAXI} + \theta_c C_{TAXI} + \theta_{Ta} Ta_{TAXI} + \theta_{SEX} SEX_i \\
 \text{Ecuación 18} \quad U_{SPU} &= \beta_{SPU} + \theta_c C_{SPU} + \theta_{Ta} Ta_{SPU} + \theta_{Cc} Cc_{SPU} + \theta_{SEX} SEX_i \\
 U_{SAA} &= \beta_{SAA} + \theta_c C_{SAA} + \theta_{Ta} Ta_{SAA} + \theta_{SEX} SEX_i \\
 U_{SAD} &= \beta_{SAD} + \theta_c C_{SAD} + \theta_{Ta} Ta_{SAD} + \theta_{F2} F_2
 \end{aligned}$$

Siendo U la utilidad de uso de cada una de las alternativas.

El Modelo en modalidad predictiva tiene como funciones de utilidad para cada una de las alternativas las siguientes:

$$\begin{aligned}
 U_{BUSMET} &= -1.08 - 0.000191C_{BUSMET} - 0.055Ta_{BUSMET} + 0.746SEX_i \\
 U_{TAXI} &= -1.71 - 0.000191C_{TAXI} - 0.055Ta_{TAXI} + 0.746SEX_i \\
 \text{Ecuación 19} \quad U_{SPU} &= -0.240 - 0.000191C_{SPU} - 0.055\theta_{Ta} Ta_{SPU} - 0.000223Cc_{SPU} + 0.746SEX_i \\
 U_{SAA} &= -0.000191C_{SAA} - 0.055\theta_{Ta} Ta_{SAA} + 0.746SEX_i \\
 U_{SAD} &= 0.432 - 0.000191C_{SAD} - 0.055Ta_{SAD} - 0.399F_2
 \end{aligned}$$

MODELACIÓN DE LA ELECCIÓN DE MODO Y HORA DE SALIDA ANTE PICO Y PLACA  
COMBINADO CON PEAJE URBANO

**Tabla 28.** Resultados de los modelos MNL

Variable	Parámetro	MNL-01	MNL -02	MNL-03	MNL-04	MNL-05
-	$\beta_1$	-0.137 (-0.00)	-0.346 (-0.00)	-0.455 (-0.00)	-1.04 (-2.85)	-1.08 (-2.97)
-	$\beta_2$	-0.647 (-0.00)	-0.857 (-0.00)	-0.967 (-0.00)	-1.67 (-6.19)	-1.71 (-6.43)
-	$\beta_3$	-0.140 (-0.20)	-0.156 (-0.22)	-0.154 (-0.22)	-0.205 (-0.30)	-0.240 (-0.35)
-	$\beta_4$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-	$\beta_5$	8.18 (0.37)	9.08 (0.23)	0.560 (3.19)	0.492 (2.83)	0.432 (2.92)
Costo (1, 2, 3, 4, 5)	$\theta_1$	-0.000192 (-1.97)	-0.000192 (-1.95)	-0.000194 (-1.97)	-0.000191 (-1.96)	-0.000191 (-1.96)
Tiempo agregado (1, 2, 3, 4, 5)	$\theta_2$	-0.0557 (-4.81)	-0.0555 (-4.92)	-0.0557 (-4.94)	-0.0550 (-4.92)	-0.0550 (-4.92)
Cobro congestión (3)	$\theta_4$	-0.000231 (-2.50)	-0.000229 (-2.49)	-0.000229 (-2.49)	-0.000223 (-2.46)	-0.000223 (-2.46)
Sexo (1, 2, 3, 4)	$\theta_5$	0.813 (4.38)	0.799 (4.28)	0.837 (4.51)	0.763 (4.14)	0.746 (4.09)
Ingresos bajos (1, 2)	$\theta_6$	0.0338 (0.00)	-0.119 (-0.00)	-0.213 (-0.00)		
Ingresos altos (3, 4, 5)	$\theta_7$	0.818 (0.00)	1.08 (0.00)	1.20 (0.00)		
Solo/Acompañado (3, 4, 5)	$\theta_8$	0.294 (1.38)	0.312 (1.47)			
Flexibilidad (3, 4, 5)	$\theta_9$	0.0744 (0.30)				
Salir antes (4)	$\theta_{10}$	0.135 (0.71)	0.119 (0.66)	0.146 (0.81)	0.117 (0.66)	
Salir después (5)	$\theta_{11}$	-0.492 (-2.40)	-0.460 (-2.33)	-0.440 (-2.24)	-0.428 (-2.19)	-0.399 (-2.09)
Edad hasta 40 años (1, 2, 3, 4)	$\theta_{12}$	7.69 (0.29)	8.60 (0.21)			
Edad mayores de 40 años (1, 2, 3, 4)	$\theta_{13}$	7.49 (0.30)	8.40 (0.21)			
Cargo (3, 4, 5)	$\theta_{14}$	-0.0468 (-0.38)				
Estratos medio-bajo (1, 2)	$\theta_{15}$	-0.305 (-0.00)				
Estratos altos (1, 2, 3)	$\theta_{16}$	0.479 (0.00)				
Razón de Verosimilitud	$L\theta$	-899.334	-899.780	-903.971	-915.673	-915.890
Rho cuadrado	$\rho^2$	0.347	0.347	0.344	0.336	0.335

FUENTE: Elaboración propia.

Con los modelos 4 y 5 comienzan a ser significativas las constantes modales de cada una de las alternativas, modos como el busmet y el taxi son percibidos como modos diferentes, lo mismo ocurre con el auto (sad). En ningún caso son

simultáneamente significativas las constantes modales de varias alternativas en auto, lo cual quiere decir que los individuos no perciben como modos diferentes el salir en auto antes, durante o después del pico y placa.

### 9.2.2 Modelos MXL

Una especificación de modelos MXL implica coeficientes aleatorios, parámetros que no son constantes y difieren en la población. Se probaron varias especificaciones del modelo basándose en los mejores del ranking de los modelos MNL. El modelo 1 es el más sencillo de todos al formularse sólo con las variables explicativas más esenciales (C, Ta, Cc). El modelo 2 incluye las variables Sex y F2, y el modelo 3 involucra además la variable F1. En la Tabla 29 se pueden observar los valores de los parámetros y su nivel de significancia de cada uno de los modelos Mixed Logit. La variable sexo no tiene mucha incidencia en estos modelos a diferencia de los MNL.

**Tabla 29.** Resultados de los modelos MXL con coeficientes aleatorios y distribución normal.

Variable	Parámetro	MXL-01	MXL-02	MXL-03
-	$\beta_1$	-2.32 (-5.14)	-2.29 (-4.86)	-2.16 (-4.50)
-	$\beta_2$	-1.64 (-5.96)	-1.77 (-6.11)	-1.69 (-5.68)
-	$\beta_3$	-0.308 (-0.43)	-0.292 (-0.39)	-0.318 (-0.42)
-	$\beta_4$	0.00	0.00	0.00
-	$\beta_5$	-0.137 (-1.31)	0.0847 (0.50)	-0.0742 (0.48)
Costo (1, 2, 3, 4, 5)	$\theta_1$	-0.000216 (-2.13)	-0.000234 (-2.18)	-0.000238 (-2.21)
Tiempo agregado (1, 2, 3, 4, 5)	$\theta_2$	-0.0663 (-4.72)	-0.0735 (-4.90)	-0.0772 (-5.10)
Cobro congestión (3)	$\theta_4$	-0.000225 (-2.43)	-0.000256 (-2.59)	-0.000244 (-2.48)
Sexo (1, 2, 3, 4)	$\theta_5$		0.187 (0.78)	
Salir antes (4)	$\theta_{10}$			0.211 (0.51)
Salir después (5)	$\theta_{11}$		-0.229 (-0.22)	-0.0591 (-0.08)
SIGMA 1_ $\theta_2$	$\sigma_1$	0.0835 (8.32)	-0.0881 (-7.93)	-0.0808 (-7.85)
SIGMA 2_ $\theta_{11}$	$\sigma_2$		3.34 (3.87)	-3.38 (-3.86)
SIGMA 3_ $\theta_{10}$	$\sigma_3$			-1.66 (-3.39)
Razón de Verosimilitud	L $\theta$	-860.371	-800.966	-790.612
Rho cuadrado	$\rho^2$	0.376	0.416	0.426

FUENTE: Elaboración propia.

La Tabla 30 presenta el ranking de modelos aplicando cada uno de los test estadísticos disponibles. Pese a que el modelo 2 es mejor que el 1 y el 3 mejor que el 2 en los valores de  $\rho^2$  y razón de verosimilitud, estos dos modelos involucran la variable SIGMA (altamente significativa en todos los casos) junto a dos variables que no lo son, como F1 y F2. SIGMA indica que las respuestas dadas por un individuo están correlacionadas lo cual es lo esperado, sin embargo las variables a las que están asociadas no son significativas. Por esta razón es que el modelo MXL-01 es mejor en cuanto al test t. Nótese que en los tres modelos ninguna constante específica para las alternativas auto son no significativas.

**Tabla 30.** Ranking de modelos MXL.

Ranking	Modelo	Signos Hipótesis	Significancia test t $\geq  1.96 $	$\rho^2$	L( $\theta$ )
1	MXL-01	Si	Si	0.376	-860.371
2	MXL-02	Si	Si	0.416	-800.966
3	MXL-03	Si	Si	0.426	-790.612

FUENTE: Elaboración propia. Nota: Significancia de las variables relevantes.

De acuerdo al ranking de modelos, el aceptado es el modelo MXL-01.

A continuación se presenta la formulación de sus funciones de utilidad para cada una de las alternativas planteadas:

$$\begin{aligned}
 U_{BUSMET} &= \beta_{BUSMET} + \theta_c C_{BUSMET} + \theta_{Ta} Ta_{BUSMET} \\
 U_{TAXI} &= \beta_{TAXI} + \theta_c C_{TAXI} + \theta_{Ta} Ta_{TAXI} \\
 \text{Ecuación 20} \quad U_{SPU} &= \beta_{SPU} + \theta_c C_{SPU} + \theta_{Ta} Ta_{SPU} + \theta_{Cc} Cc_{SPU} \\
 U_{SAA} &= \beta_{SAA} + \theta_c C_{SAA} + \theta_{Ta} Ta_{SAA} \\
 U_{SAD} &= \beta_{SAD} + \theta_c C_{SAD} + \theta_{Ta} Ta_{SAD}
 \end{aligned}$$

Modelo en modalidad predictiva:

$$\begin{aligned}
 U_{BUSMET} &= -2.32 - 0.000216C_{BUSMET} - 0.0663Ta_{BUSMET} \\
 U_{TAXI} &= -1.64 - 0.000216C_{TAXI} - 0.0663Ta_{TAXI} \\
 \text{Ecuación 21} \quad U_{SPU} &= -0.308 - 0.000216C_{SPU} - 0.0663\theta_{Ta} Ta_{SPU} - 0.000225Cc_{SPU} \\
 U_{SAA} &= -0.000216C_{SAA} - 0.0663\theta_{Ta} Ta_{SAA} \\
 U_{SAD} &= -0.137 - 0.000216C_{SAD} - 0.0663Ta_{SAD}
 \end{aligned}$$

Para determinar el mejor modelo entre el MNL y el MXL, la tabla 31 realiza una comparación.

**Tabla 31.** Escogencia del mejor modelo.

Parámetro	MNL-05	MXL-01
$\beta_1$	-1.08 (-2.97)	-2.32 (-5.14)
$\beta_2$	-1.71 (-6.43)	-1.64 (-5.96)
$\beta_3$	-0.240 (-0.35)	-0.308 (-0.43)
$\beta_4$	0.00	0.00
$\beta_5$	0.432 (2.92)	-0.137 (-1.31)
$\theta_c$	-0.000191 (-1.96)	-0.000216 (-2.13)
$\theta_{Ta}$	-0.0550 (-4.92)	-0.0663 (-4.72)
$\theta_{Cc}$	-0.000223 (-2.46)	-0.000225 (-2.43)
$\theta_{Sex}$	0.746 (4.09)	
$\theta_{F2}$	-0.399 (-2.09)	
SIGMA 1_ $\theta_{Ta}$		0.0835 (8.32)
$\rho^2$	0.335	0.376
L( $\theta$ )	-915.890	-860.371
	No Aceptado	Aceptado

FUENTE: Elaboración propia.

Ambos modelos tienen signos correctos. El modelo MNL-05 tiene 8 variables significativas frente a 6 del modelo MXL-01, el  $\rho^2$  del MXL-01 es mucho mayor que el MNL-05. Se concluye que el modelo MXL-01 es mejor puesto que es un modelo más simple y con sus variables explicativas significativas.

Se estima el Valor Subjetivo del Tiempo (**VST**) utilizando la relación:  $\theta_t/\theta_c$ .

$$VST = \frac{-0.0663[\$]}{-0.000216[\text{min}]} = \$307 / \text{min}$$

Esto es equivalente a \$18.417/hora.

El Valor Subjetivo del Tiempo (**VST**) para los usuarios que deciden pagar el cobro por congestión utiliza la relación:  $\theta_t/\theta_{cc}$ .

$$VST = \frac{-0.0663[\$]}{-0.000225[\text{min}]} = \$295 / \text{min}$$

Esto es equivalente a \$17.680/hora.

### 9.2.3 Cuotas de mercado de los modos

Con el modelo estimado y seleccionado como el mejor, se pueden calcular las cuotas de mercado de los cinco modos considerados, es decir, la probabilidad de que cada modo analizado sea elegido para realizar los viajes. Estos modos son **Bus-Metro, Taxi, Salir en auto antes del Pico y Placa, Salir en auto durante el Pico y Placa y pagar peaje, y Salir en auto después del Pico y Placa.**

Para alimentar el modelo, se han tomado datos promedio de los viajes realizados en los modos establecidos. Los costos y tiempos se tomaron de manera general sobre los valores presentados en la encuesta, para llevar a cabo el cálculo de dichas cuotas. A estos datos se les aplica el modelo estimado, para finalmente obtener las cuotas de mercado definitivas.

A continuación se presentan los resultados de las cuotas de mercado para los modos estudiados y se tiene, para los valores de las variables presentados, que la probabilidad de elección para el BUSMET es del 8%, para el TAXI del 6%, para SPU del 3%, para SAA del 41% y para SAD del 42%. Estas probabilidades están calculadas para conductores de sexo masculino, los mismos resultados se presentan en rojo para el sexo femenino.

**Tabla 32.** Cuotas de mercado de los modos.

MODO Y HORA SALIDA	VARIABLE	VALOR	$\beta$	UTILIDAD	PROBABILIDAD	VIAJES DIARIOS
Bus y Metro	Costo	1700	-2,32	-5,339	2%	3327
	Tiempo Total	40				
Taxi	Costo	7000	-1,64	-4,147	7%	10967
	Tiempo Total	15				
Salir en auto durante el PyP y pagar Peaje	Costo	3000	-0,308	-4,864	4%	5354
	Tiempo Total	25				
	Cobro por Congestión	10000				
Salir en auto antes de que opere el PyP	Costo	3000	0,000	-2,306	46%	69121
	Tiempo Total	25				
Salir en auto después de que termine el PyP	Costo	3000	-0,137	-2,443	40%	60271
	Tiempo Total	25				
					100%	149040

FUENTE: Elaboración propia.

**Tabla 33.** Datos complementarios para el cálculo de las cuotas de mercado

Costo	-0,000216
Tiempo Total	-0,0663
Cobro congestión	-0,000225
Viajes	149040

FUENTE: Elaboración propia.

Los viajes se estimaron a partir de la EOD 2005 considerando los viajes realizados en modo auto conductor en la primera etapa del viaje con motivo trabajo. La cifra resultante se multiplicó con el factor de expansión promedio calculado para la ciudad de Medellín.

### 9.2.4 Elasticidades directas y cruzadas del modelo

Se entiende por elasticidad el cambio porcentual en la probabilidad de elegir cierta alternativa  $A_i$ , del conjunto de alternativas  $A_q$ , a consecuencia de variaciones en el valor de los atributos de la misma alternativa  $A_i$  (Elasticidad Directa), o de otra alternativa  $A_j$  (Elasticidad Cruzada), que también pertenezca al conjunto  $A_q$ .

La elasticidad directa del MNL respecto a un atributo  $X_{ikq}$ , es:

$$\text{Ecuación 22} \quad E_{P_{iq} X_{ikq}} = \theta_{ik} X_{ik} (1 - P_{iq})$$

Para la elasticidad cruzada se tiene:

$$\text{Ecuación 23} \quad E_{P_{iq} X_{jkq}} = -\theta_{jk} X_{jk} P_{jq}$$

Lo cual estima la variación de la probabilidad de elegir una alternativa  $A_i$  cuando se produce un cambio en el valor de un atributo de otra alternativa  $A_j$ , del individuo  $q$ .

La Tabla 34 muestra los cálculos de las elasticidades directas y cruzadas con respecto al costo y al tiempo total de viaje. Aquí se calculan las variaciones en la probabilidad de acuerdo a cambios en el tiempo de viajes y el costo, referenciado este último a una distancia de viaje.

**Tabla 34.** Elasticidades directas y cruzadas del modelo elegido.

DIRECTAS				CRUZADAS			
MODO		ATRIBUTO		MODO		ATRIBUTO	
		COSTO	TIEMPO VIAJE			COSTO	TIEMPO VIAJE
		-0,000216	-0,0663			-0,000216	-0,0663
Elección	Probabilidad	200	5	Elección	Prob.	200	5
BUSMET	2%	-4,2%	-32,4%	BUSMET	2%	0,1%	0,7%
TAXI	7%	-4,0%	-30,7%	TAXI	7%	0,3%	2,4%
SPU	4%	-4,2%	-32,0%	SPU	4%	0,2%	1,2%
SAA	46%	-2,3%	-17,8%	SAA	46%	2,0%	15,4%
SAD	40%	-2,6%	-19,7%	SAD	40%	1,7%	13,4%
100%				100%			

FUENTE: Elaboración propia.

De esta manera se tiene que la probabilidad de elegir TAXI, puede variar en un 4% al considerar un cambio en la tarifa de \$200. Respecto al tiempo de viaje, se tiene que una modificación de 5 minutos en el tiempo de viaje, puede producir variaciones del orden del 30,7% en la probabilidad de elegir TAXI para el ejemplo dado.

Según los resultados presentados en la Tabla 34 se puede decir que la probabilidad de elegir BUSMET, TAXI, SPU, SAD, puede variar en un 2% al considerar un cambio en la tarifa de \$200 para SAA. Respecto al tiempo de viaje, se tiene que con una modificación de 5 minutos en SAA, la probabilidad de elegir los demás modos variaría en un 15,4%.

## 10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cobro de un cargo por congestión es una política que puede ser aplicada a mediano o largo plazo en una ciudad como Medellín. Una vez que la medida restrictiva del Pico y Placa vaya perdiendo sus efectos positivos sobre la movilidad, una alternativa viable sería la liberación de esta restricción a través de un cobro. Es claro que no todas las personas usuarias del vehículo estarían dispuestas a pagar, los resultados observados en los modelos indican que pese a que el valor del tiempo de las personas es alto (cerca de \$18.420 por hora), pocas estarían dispuestas a pagar una tarifa más (junto a los demás gastos que genera la tenencia de automóvil) para salir en los períodos de regencia del Pico y Placa. Este resultado es consecuente con las percepciones de las personas que indica poca aceptación a nuevos cobros o tarifas asociados a la tenencia de automóvil.

Esta política buscaría, como una gestión del tránsito, mantener los niveles de congestión a un grado manejable a la par que genera la recaudación de ingresos para su inversión en transporte público. La EOD 2005 muestra claramente que el transporte público tanto colectivo como individual, movilizan el 68% de los viajes motorizados de la ciudad, mientras que el transporte privado mueve sólo el 26% en toda el Área Metropolitana. Si bien es cierto que una flexibilización del Pico y Placa a través de un Peaje Urbano liberará a algunos vehículos de la medida, las cifras estimadas indican que sólo un 4% elegiría esta opción, este porcentaje es corresponde a la mitad de vehículos exentos actualmente según el Decreto No. 1120 de 2008 que rige el Pico y Placa.

Esta investigación pretende abrir el panorama de nuestro conocimiento acerca de medidas nunca antes exploradas en el contexto de la ciudad de Medellín, y es por esto que el tema debe ser investigado aún más, analizando otras situaciones como un peaje urbano sin Pico y Placa, un peaje urbano con un Pico y Placa más extenso, etc. Los modelos presentados buscan servir de herramienta para modelar políticas de transporte con ellos.

La medida del Pico y Placa actual combinada con Peaje Urbano, es considerada insuficiente para ofrecer reales ventajas en cuanto al pago de peaje. Las personas del grupo focal mencionan que un Pico y Placa tan corto como el que se tiene, no tienta a un conductor a que se vea atraído por los beneficios otorgados por el pago del cobro por congestión, esto explicaría en parte, la baja aceptación de esta medida combinada.

En la estimación de los modelos de elección discreta para los modelos MNL, se observó que comienzan a ser significativas las constantes modales de cada una

de las alternativas, modos como el busmet y el taxi son percibidos como modos diferentes, lo mismo ocurre con el auto (sad). En ningún caso son simultáneamente significativas las constantes modales de las alternativas en auto, lo cual indica que los individuos no perciben como modos diferentes el salir en auto antes, durante o después del pico y placa.

En el caso de los modelos Logit Jerárquico (no incluidos en este estudio) y dado que  $\beta=\lambda$ , este colapsaba al uniparámetro MNL, por tanto los atributos correspondientes a los nidos inferiores son atribuidos al nido superior; esto debido a que entre los aspectos considerados en el diseño de la encuesta, los modos estimados corresponderían a los dos únicos ramales posibles para el modelo, teniendo un nido común para ambos ramales; es decir, en este caso el Logit jerárquico es igual al MNL calculado, esta es la razón por la cual se estimaron modelos MNL y MXL.

Un hecho importante que vale la pena destacar es la relevancia que tiene la depuración de la base de datos (sin observaciones lexicográficas por ejemplo) para la obtención de mejores y más significativos parámetros estadísticos. Es muy cierto que una buena base de datos entrega mejores modelos, en el caso de que se pretenda pronosticar con ellos.

Los cálculos de probabilidad de elección de modo o cuotas de mercado muestran una muy baja probabilidad (4%) de que las personas (usuarias de vehículo particular) elijan la opción de viajar en auto durante el Pico y Placa y asumir el pago del cobro por congestión. Este resultado es consecuente con las observaciones tomadas a partir del grupo focal y las entrevistas a profundidad, pero contrastan fuertemente con el 13.5% de escogencia de esta alternativa por parte de los encuestados. Durante la encuesta de preferencias declaradas, la elección de las alternativas en cada uno de los casos presentados, mostraba distintos valores en sus atributos, la alternativa de salir en auto durante el Pico y Placa competía favorablemente con el tiempo de viaje aunque no en costo (cobro por congestión), es probable que las personas hayan priorizado el tiempo de viaje por sobre el costo a la hora de hacer su elección. Aunque este sea un supuesto, es evidente que la aleatoriedad con la que se estiman los modelos y el diseño propio de la encuesta, ofrece resultados más confiables en cuanto a la elección "real" de cada una de las alternativas propuestas.

Las diferencias entre el VST con respecto al Costo de usar el modo y al Cobro por Congestión,  $\theta_t/\theta_c$  y  $\theta_t/\theta_{cc}$  respectivamente, muestra que el VST del Cobro por Congestión es menor que el VST del Costos de usar el modo, esto va en contra de lo esperado pues se intuye que las personas que están dispuestas a pagar un peaje es porque valoran mucho más su tiempo. La explicación de este resultado se debe, muy probablemente, a un problema de percepción de los costos que genera la utilización del automóvil, siendo uno de estos el costo de la gasolina

consumida en cada viaje. Esta cifra no la precisan los conductores y por ello el modelo no puede estimar con exactitud su valor real.

Uno de los puntos más importantes en las entrevistas a profundidad consistía en explorar la opinión de las personas acerca de la situación hipotética de un cobro por congestión, el objetivo de las preguntas se fundamentaba en el hecho de que algunos conductores verían atractivo liberarse de la medida, y en este sentido, sería factible indagar acerca de si pagarían o no, cuánto pagarían, en qué condiciones lo harían y cuántos días pagarían al mes. Sin embargo, fue común el rechazo ya sea por el cobro o por considerar que la congestión empeoraría debido a esta flexibilización del Pico y Placa.

Una de las hipótesis validadas en este estudio gracias a la investigación cualitativa, muestra que los usuarios de vehículo particular son muy dependientes de su vehículo y difícilmente considerarían otro modo de transporte para sus desplazamientos. Este hecho fue evidente en cada uno de los testimonios dados donde factores como la seguridad y la comodidad son fuertemente valorados por los conductores. Por otro lado, el transporte público colectivo está muy desestimado por las condiciones de operación actuales: frecuencias, hábitos de conducción de quienes manejan los vehículos, etc.

El Pico y Placa pretende desincentivar el uso del vehículo particular, pese a esto el grado de afectación de la medida es relativo puesto que muchas actividades laborales han adquirido cierto grado de flexibilidad y han conseguido “hacerle el quite” a la medida. Indagando acerca de si la medida afecta o no el cronograma de viajes diarios, se observa que algunos dicen que no y que buscan acomodar sus horarios y actividades a ese horario, incluso tomando otro medio de transporte. En cambio, es más común encontrar testimonios que expresan su inconformidad puesto que les toca dejar de usar el vehículo dos días a la semana y que eso les genera dificultades en sus desplazamientos, incluyendo madrugar más, tomar taxi o quedarse hasta más tarde en el trabajo.

Estos testimonios muestran que no siempre las personas de alto estrato son las más apegadas al automóvil, en algunos casos son los estratos medio o bajos quienes expresan mayores dificultades para movilizarse en los días que le toca la medida. El Pico y Placa de dos días a la semana ha sido considerado como una medida facilista para mitigar el aumento de la congestión en la ciudad. Los beneficios ambientales que pueden generarse con esta medida son pobremente identificados, y en general, es notorio el rechazo a este aumento de la restricción.

## BIBLIOGRAFÍA

### INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

Álvarez y Munizaga (2001) "Modelos Mixed Logit: Antecedentes teóricos y aplicaciones". Actas del X Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte. Concepción.

Batley, R.P.; Daly, A.J. (2004) "Departure time choice under uncertainty: a model Association for European Transport, Strasbourg.

Ben-Akiva, M. y S.R. Lerman (1985) "Discrete Choice Analysis. Theory and Application to Travel Demand". The MIT Press. Cambridge, Massachusetts.

Button, Kenneth J. (1993) "Transport Economics" Second Edition, Edward Elgar Publishing Ltd, England pp. 153.

Cantillo, V., Ortúzar, J. de D. (2005) "A semi-compensatory discrete choice model with explicit attribute thresholds of perception". Transportation Research Part B, 39, 7, 641-657.

Carson, R.; Louviere, J.; Anderson, D.; Arabie, P.; Bunch, D.; Hensher, D.; Johnson, R.; Kunfeld, W.; Steinberg, D.; Swait, J.; Timmermans, H. y Wiley, J. (1994) "Experimental analysis of choice". Marketing Letters, 5 (4), 351-368.

Deaton, A. & J. Muellbauer (1980) "Economics and consumer behavior". Cambridge: Cambridge University Press.

Díaz, Claudia. (2004) "Metodología para la evaluación de los costos de la movilidad en el transporte público. Aplicación a la ciudad de Medellín" (Colombia), UPC.

Domencich, T. & D. McFadden (1975) "Urban travel demand: a behavioural analysis". Amsterdam: North Holland.

Eliasson, J. & Lars-Göran, M. (2006) "Equity effects of congestion pricing. Quantitative methodology and a case study for Stockholm". Transportation Research Part A 40, 602-620.

Espino E., R., Ortúzar, J. de D., Román G., Concepción (2004) "Diseño de preferencias declaradas para analizar la demanda de viajes". Estudios de Economía Aplicada Vol. 22-3, 759 – 793, España.

Foerster, J.F. (1979) "Mode choice decision process models: a comparison of compensatory and non-compensatory structures". *Transportation Research Part A* 13, 17-28.

Hess, S.; Daly, A.; Rohr, Ch. & Hyman, G. (2007) "On the development of time period and mode choice models for use in large scale modelling forecasting systems". *Transportation Research Part A* 41, 802-826.

Herrera M., Ana P. (2005) "Aplicación de los modelos de elección discreta en el proceso de planeación de transporte". Programa de Investigación en Tránsito y Transporte, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Kocur, G.; Adler, T., Hyman, W. y Aunet, B. (1982) "Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment". Report No. UMTA-NH-11-0001-82. Urban Mass Transportation Administration. US Department of Transportation, Washington, DC.

Litman, Todd (2006) "London Congestion Pricing: Implications for Other Cities". Victoria Transport Policy Institute. Canada. [www.vtpi.org](http://www.vtpi.org)

McFadden, D. (1981) "Econometric models of probabilistic choice". Manski, C. & D. McFadden (eds.), *Structural analysis of discrete choice data with econometric applications*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.

McFadden, D. (1986) "The Choice Theory Approach to Market Research," *Marketing Science*, 5, 275-297.

McFadden, D. y Train, K. (2000) "Mixed MNL models of discrete response". *Journal of Applied Econometrics* 15, 447-470.

Medina M. Eva (2003) "Modelos de Elección Discreta". [www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/eva/pdf/logit.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/pdf/logit.pdf)

Morikawa, T. (1989) "Incorporating stated preference data in travel demand analysis" Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, MIT.

Newbery, D. (2005) "Road pricing: Lessons from London". University of Cambridge. Economic Policy 42<sup>nd</sup> Panel Meeting. <http://www.electricitypolicy.org.uk>

Ortúzar, J. de D. & L. G. Willumsen (1994) *Modelling transport*. Chichester: John Wiley and Sons.

Ortúzar, J. de D. (2000) "Modelos econométricos de elección discreta". Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.

Secretaría de Transportes y Tránsito. (2008) "Pico y Placa en la Ciudad de Medellín", Medellín.

Pearmain, D., Swanson, J., Kroes, E. y Bradley, M. (1991) "Stated Preference Techniques: A Guide to Practice". Second Edition, Steer Davies Gleave and Hague Consulting Group.

Rouwendal, J. y A.T. de Blaeij (2004). "Inconsistent and lexicographic choices in stated preference analysis". Tinbergen Institute Discussion Paper TI 2004-038/3.

Saelensminde, K. (1999) "Stated Choice Valuation of Urban Traffic Pollution and Noise". Transportation Research Part D, Volume 4, pp13-27.

Saelesminde, K. (2002) "The impact of choice inconsistencies in stated choice studies. Environmental and Resource Economics 23, pp 403-420.

Salazar M., Yenier (2008) "Modelacion de la elección del modo y hora de viaje ante la restricción. Pico y Placa en automoviles: Aplicación a una zona en la ciudad de Medellín". Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Small, Kenneth A. y Gomez-Ibañez, José A. (1998) "Road Pricing for Congestion Management: The Transition from Theory to Policy". University of California Transportation Center, University of California at Berkeley, pp 227.

Train, K. (2003) "Discrete Choice Methods with Simulation". Cambridge University Press.

Tversky, A. (1972) "Elimination by aspects: a theory of choice". Psychological review, 79, 281-299.

Vélez Gil, Alvaro. (2005) "Análisis comparativo antes y después de la implementación de la medida de pico y placa aforos vehiculares, longitud de colas y tiempos de espera, y tiempos de recorrido y demoras". Secretaría de Transportes y Tránsito, Medellín.

Walker, J., Ben-Akiva, M., Bolduc, D (2001) "Identification of the Logit Kernel (or Mixed Logit) Model". Working paper, Massachusetts Institute of Technology.

## INVESTIGACIÓN CUALITATIVA

Ackroyd, S. y Hughes, J. (1992) "Data collection in context". Segunda Edición, Longman Group.

Agudelo V., Laura I. (2007) "Racionalidad de la oferta y lógicas de uso en los sistemas de transporte masivo: Exploraciones en Medellín – Colombia". Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Brinberg, D. y McGrath, J.E. (1985) "Validity and the research process". Beverly Hills; California: Sage.

Cirino, Gerena G. (1984). Introducción al desarrollo de pruebas escritas. RÍ Piedras: Editorial Bohío.

Cronbach, L. J. (1960) "Essentials of psychological testing" New York: Harper & Row.

Deslauries, J. (2004) "Investigación Cualitativa. Guía Práctica". Editorial Papiro, Colombia.

Fetterman, D.M. (1989) "Ethnography step by step". Beverly Hills; California: Sage.

Krueger, R.A. (1991) "Focus groups: A practical guide for applied research" Beverly Hills; California: Sage.

Johnson, J.M. (2002) "In-depth Interviewing". Handbook of Interview Research: Context and Method. California: Sage.

Marshall, C.; Rossman, G.B. (1989) "Designing qualitative research" Beverly Hills; California: Sage.

Mason, J (1996) "Qualitative Researching". Sage Publications, Londres.

Reyes, Tomás (2000) "Métodos cualitativos de investigación: los grupos focales y el estudio de caso". Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. Volumen 4.2 75-87. <http://cicia.uprrp.edu/forum/Vol.%204.2/4.pdf>

Warren, C.A.B. (2002) "Qualitative interviewing". Handbook of Interview Research: Context and Method. California: Sage.

Strauss, A., & Corbin, J. (1990) "Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques". Newbury Park, CA: Sage Publications, Inc.

## WEB SITES

Visual Technology. PRoGRESS Project. (En Internet). <<http://www.progress-project.org/>> (Consulta: 21 de enero de 2009)

Michel Bierlaire, EPFL. Transport and Mobility laboratory. (En Internet). <<http://transp-or.epfl.ch/page63023.html>> (Consulta: enero - abril de 2009)

Autopista Central. Sistema de Telepeaje en Flujo Libre, TAG. (En Internet). <<http://www.autopistacentral.cl/index.php>> (Consulta: 16 febrero de 2009)

Grupo del banco Central. Colombia - Mitigating environmental degradation to foster growth and reduce inequality. (Artículo en Internet). < [http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2006/06/27/000160016\\_20060627101617/Rendered/PDF/363450CO.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2006/06/27/000160016_20060627101617/Rendered/PDF/363450CO.pdf)> (Consulta: 23 enero de 2009)

Sistema de Información a la Movilidad del Ciudadano, SIMOC. Laboratorio de la Movilidad y Estudios. (En Internet). <<http://alcaldia.medellin.gov.co/transito/info-publica/lab-mov-est.html>> (Consulta: 23 enero de 2009)

# ANEXOS

## A

FORMATO FÍSICO Y ELECTRÓNICO DE LA ENCUESTA DE  
PREFERENCIAS DECLARADAS

## B

DISEÑO DE LA ENCUESTA DE PREFERENCIAS DECLARADAS

## C

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CARACTERIZACIÓN DEL  
INDIVIDUO

## D

PREGUNTAS GUÍA PARA ENTREVISTAS A PROFUNDIDAD Y  
TRANSCRIPCIONES

## ANEXO A

### FORMATO FÍSICO Y ELECTRÓNICO DE LA ENCUESTA DE PREFERENCIAS DECLARADAS

#### A. FORMATO FÍSICO

Se diseñó una cartilla para el encuestador que contuviera los conceptos básicos para aclarar las dudas más comunes con la encuesta y así poder transmitir la información al encuestado de tal manera que éste pudiera responder de forma clara y concisa.

Información de la cartilla (Correspondientes a las preguntas de la Fase Dos)

Dirigido exclusivamente a personas que utilizan el vehículo particular para sus viajes habituales (frecuentes) con motivo de trabajo o estudio.

Esta encuesta hace parte de una investigación realizada por la Universidad Nacional de Colombia para la tesis de maestría **“Modelación de la elección de modo y hora de salida ante pico y placa combinado con peaje urbano”**.

Definición de los atributos:

Tiempo de Viaje: Es el que tarda una persona o vehículo en realizar el viaje, esto es, en ir de su origen a su destino.

Costo de usar el modo: En transporte público colectivo (bus y metro) es la tarifa integrada; en transporte público individual (taxi) es lo que cueste el recorrido; en auto es el costo de usarlo, ya que éste consume combustible, desgasta las llantas, etc.

Tiempo de Espera: Es el tiempo que una persona gasta en esperar el modo que lo va a transportar, esto sólo se aplica cuando se utiliza el transporte público.

Cargo por Congestión: Es la tarifa que un usuario de vehículo particular tiene como opción pagar si éste desea salir en su auto uno de los dos días que tiene pico y placa durante el período pico de la mañana, siempre que el usuario no desee acatar la restricción.

Definiciones de los modos:

Bus y Metro: Este modo corresponde a la integración del bus y del metro. Un individuo que elija este modo se transportará tanto en bus como en metro para ir de su origen a su destino.

Taxi: El usuario que no desee utilizar su auto o viajar en bus y metro tiene la opción de hacerlo en este modo.

Salir en auto y pagar el cargo por congestión: Esta opción se aplica a los usuarios de vehículo particular que eligen utilizar su vehículo pese a la restricción de pico y placa, pero para hacerlo tiene que pagar un cargo por congestión. Dicho cobro se hará a través de un peaje urbano instalado electrónicamente en la red vial arterial de la ciudad, esto es, que obligatoriamente debe pagar este cargo.

Salir en auto antes o después del pico y placa: Estas dos opciones aplican a los usuarios de vehículo particular que eligen utilizar su vehículo pero que no están dispuestos a pagar el cargo por congestión, lo cual implica que deben salir antes ó después de la restricción del Pico y Placa en el período pico de la mañana. Estos usuarios ó madrugan más para evadir la restricción o salen más tarde cuando ésta termine.

Observaciones:

La opción de evadir el Pico y Placa pagando un cargo por congestión aplicará SÓLO para UNO de los dos días en que toca la restricción. Ejemplo: Si a un usuario le toca miércoles y viernes, el puede escoger si se libra del pico y placa el miércoles ó el viernes.

Pregunta:

**Suponga que un día tiene pico y placa y no puede sacar su vehículo en los horarios de 6:30 - 8:30 am y de 5:30 - 7:30 pm. Tiene la posibilidad de utilizar su vehículo todo el día pero para ello debe pagar un cargo por congestión a través de un peaje urbano que se cobra por medios electrónicos. En esta situación, escoja una de las alternativas (para cada caso) para realizar su viaje que son presentadas a continuación de acuerdo a sus preferencias.**

Casos presentados:

**CASO 1**

**ALTERNATIVAS**

				
<b>BUS Y METRO</b>	<b>TAXI</b>	<b>SALIR EN AUTO Y PAGAR EL CARGO POR CONGESTIÓN</b>	<b>SALIR EN AUTO ANTES DEL PICO Y PLACA</b>	<b>SALIR EN AUTO DESPUÉS DEL PICO Y PLACA</b>
Tiempo de viaje: 35 min Costo: \$1600 Tiempo de espera: 8 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$6000 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$7000	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$4000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0

**CASO 2**

**ALTERNATIVAS**

				
<b>BUS Y METRO</b>	<b>TAXI</b>	<b>SALIR EN AUTO Y PAGAR EL CARGO POR CONGESTIÓN</b>	<b>SALIR EN AUTO ANTES DEL PICO Y PLACA</b>	<b>SALIR EN AUTO DESPUÉS DEL PICO Y PLACA</b>
Tiempo de viaje: 35 min Costo: \$1900 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$7000 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$3000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$7000	Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$4000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$4000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0

**CASO 3**

**ALTERNATIVAS**

				
<b>BUS Y METRO</b>	<b>TAXI</b>	<b>SALIREN AUTO Y PAGAR EL CARGO POR CONGESTIÓN</b>	<b>SALIREN AUTO ANTES DEL PICO Y PLACA</b>	<b>SALIREN AUTO DESPUÉS DEL PICO Y PLACA</b>
Tiempo de viaje: 35 min Costo: \$2200 Tiempo de espera: 8 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$7000 Tiempo de espera: 4 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$3000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$7000	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$3000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$3000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0

**CASO 4**

**ALTERNATIVAS**

				
<b>BUS Y METRO</b>	<b>TAXI</b>	<b>SALIREN AUTO Y PAGAR EL CARGO POR CONGESTIÓN</b>	<b>SALIREN AUTO ANTES DEL PICO Y PLACA</b>	<b>SALIREN AUTO DESPUÉS DEL PICO Y PLACA</b>
Tiempo de viaje: 40 min Costo: \$1600 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$6000 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$4000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$7000	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$4000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0

CASO 5

ALTERNATIVAS

				
<b>BUS Y METRO</b>	<b>TAXI</b>	<b>SALIR EN AUTO Y PAGAR EL CARGO POR CONGESTIÓN</b>	<b>SALIR EN AUTO ANTES DEL PICO Y PLACA</b>	<b>SALIR EN AUTO DESPUÉS DEL PICO Y PLACA</b>
Tiempo de viaje: 40 min Costo: \$1900 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$5000 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$4000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$7000	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0

CASO 6

ALTERNATIVAS

				
<b>BUS Y METRO</b>	<b>TAXI</b>	<b>SALIR EN AUTO Y PAGAR EL CARGO POR CONGESTIÓN</b>	<b>SALIR EN AUTO ANTES DEL PICO Y PLACA</b>	<b>SALIR EN AUTO DESPUÉS DEL PICO Y PLACA</b>
Tiempo de viaje: 40 min Costo: \$2200 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$5000 Tiempo de espera: 4 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$3000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$10000	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$4000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0

CASO 7

ALTERNATIVAS

				
<b>BUS Y METRO</b>	<b>TAXI</b>	<b>SALIR EN AUTO Y PAGAR EL CARGO POR CONGESTIÓN</b>	<b>SALIR EN AUTO ANTES DEL PICO Y PLACA</b>	<b>SALIR EN AUTO DESPUÉS DEL PICO Y PLACA</b>
Tiempo de viaje: 45 min Costo: \$1600 Tiempo de espera: 8 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$6000 Tiempo de espera: 4 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$7000	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$3000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0

CASO 8

ALTERNATIVAS

				
<b>BUS Y METRO</b>	<b>TAXI</b>	<b>SALIR EN AUTO Y PAGAR EL CARGO POR CONGESTIÓN</b>	<b>SALIR EN AUTO ANTES DEL PICO Y PLACA</b>	<b>SALIR EN AUTO DESPUÉS DEL PICO Y PLACA</b>
Tiempo de viaje: 45 min Costo: \$1900 Tiempo de espera: 8 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$5000 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$4000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$10000	Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$4000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0	Tiempo de viaje: 15 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0

**CASO 9**

**ALTERNATIVAS**

 <p><b>BUS Y METRO</b></p> <p>Tiempo de viaje: 45 min Costo: \$2200 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0</p>	 <p><b>TAXI</b></p> <p>Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$7000 Tiempo de espera: 6 min Cargo por congestión: \$0</p>	 <p><b>SALIR EN AUTO Y PAGAR EL CARGO POR CONGESTIÓN</b></p> <p>Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$7000</p>	 <p><b>SALIR EN AUTO ANTES DEL PICO Y PLACA</b></p> <p>Tiempo de viaje: 20 min Costo: \$3000 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0</p>	 <p><b>SALIR EN AUTO DESPUÉS DEL PICO Y PLACA</b></p> <p>Tiempo de viaje: 25 min Costo: \$3500 Tiempo de espera: 0 min Cargo por congestión: \$0</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Hoja de Respuestas:

HOJA DE RESPUESTAS					
Escoja sólo UNA ALTERNATIVA POR CADA CASO					
CASOS	ALTERNATIVAS				
	BUS + METRO	TAXI	Salir en auto y pagar el cargo por congestión	Salir en auto antes del pico y placa	Salir en auto después del pico y placa
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

Caracterización del Individuo (Correspondiente a las preguntas de la Fase Tres)

CARACTERIZACIÓN DEL INDIVIDUO					
La información de esta encuesta sólo se usará con fines académicos y el manejo de la información es confidencial. En ningún momento se le preguntará nombre, número de identificación o algún dato que pueda ligarlo(a) a los datos contenidos aquí y seleccionados por usted. (Marque con una X)					
Sexo:	F <input type="checkbox"/>	Edad:	Menor de 20 años <input type="checkbox"/>	Estrato de su vivienda:	1 <input type="checkbox"/>
	M <input type="checkbox"/>		Entre 20 y 40 años <input type="checkbox"/>		2 <input type="checkbox"/>
			Más de 40 años <input type="checkbox"/>		3 <input type="checkbox"/>
Barrio de residencia:	<input type="text"/>				4 <input type="checkbox"/>
					5 <input type="checkbox"/>
					6 <input type="checkbox"/>
Seleccione su nivel de ingresos:	0-500,000 <input type="checkbox"/>		2,000,000-4,000,000 <input type="checkbox"/>		
	500,000-1,000,000 <input type="checkbox"/>		Más de 4,000,000 <input type="checkbox"/>		
	1,000,000-2,000,000 <input type="checkbox"/>				
Su horario de trabajo es flexible:	Si <input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>		
En caso afirmativo, puede llegar antes o después de su hora de entrada:	Antes <input type="checkbox"/>	Después <input type="checkbox"/>	No viaja a ese día <input type="checkbox"/>		
			Viaje en otro auto <input type="checkbox"/>		
De cuánto tiempo es su flexibilidad:	Minutos <input type="text"/>	Hora de inicio de actividades (trabajo o estudio):	<input type="text"/>		
Qué cargo ocupa en su lugar de trabajo:	Empleado <input type="checkbox"/>	Alto ejecutivo <input type="checkbox"/>	Independiente <input type="checkbox"/>		
Motivo del viaje más frecuente:	Estudio <input type="checkbox"/>	Trabajo <input type="checkbox"/>			
Viaja solo o acompañado:	Solo(a) <input type="checkbox"/>	Acompañado(a) <input type="checkbox"/>			

B. FORMATO ELECTRÓNICO

El formato electrónico de la encuesta es similar al utilizado en medio físico, los nueve casos son presentados de igual forma y posteriormente se interroga los aspectos socioeconómicos. Las preguntas se van presentando una a una y de la misma manera se pueden seleccionar las respuestas o describirlas libremente si es el caso.

Para habilitar la encuesta en formato electrónico se adquirió un hosting en internet y se utilizó una aplicación llamada LimeSurvey versión 1.72.

LimeSurvey, es una aplicación de código abierto (Licencia GPL v2) que permite indagar a los visitantes autorizados de la página sobre el tema de interés. La aplicación viene en 46 idiomas, y es posible puede crear o modificar plantillas para lograr una mejor integración con el proyecto de investigación.

LimeSurvey<sup>25</sup>, actualmente ofrece:

<sup>25</sup> <http://www.seodevs.com/limesurvey-encuestas-de-codigo-abierto-en-php.html>

- Ilimitado número de encuestas simultáneas
- Ilimitado número de preguntas en una encuesta (sólo limitado por tu base de datos)
- Ilimitado número de participantes en una encuesta
- Encuestas multi-idioma
- Gestión de usuarios
- Más de 20 diferentes tipos de preguntas
- Integración de imágenes y vídeos en una encuesta
- Creación de versión imprimible de la encuesta
- Posibilidad de fijar condiciones para las preguntas dependiendo de respuestas anteriores (ramificación de la encuesta)
- Conjuntos de respuestas re-usables y editables
- Preguntas importables prefabricadas
- Encuestas de evaluación
- Encuestas anónimas y no anónimas
- Grupos abiertos y cerrados de participantes en encuestas
- Registro público opcional para encuestas
- Envío de invitaciones, recordatorios y tokens por email
- Posibilidad de que los participantes guarden respuestas parciales para continuar con la encuesta más adelante
- Editor de plantillas para crear su propio diseño de página
- Amplio y amigable interfaz de administración
- Fechas límite de encuestas para automatización
- Funciones mejoradas de importación y exportación a texto
- Análisis básico estadístico y gráfico con función de exportación

Un ejemplo de cómo se presentan los casos es el que se muestra a continuación:

**Caso 1:**

<b>ATRIBUTOS</b> (Estos atributos se utilizan en todos los modos)					
	<b>Bus y Metro</b>	<b>Taxi</b>	<b>Salir en auto y pagar el cargo por congestión</b>	<b>Salir en auto antes del pico y placa</b>	<b>Salir en auto después del pico y placa</b>
Tiempo de viaje:	35 min	20 min	15 min	25 min	25 min
Costo de usar el modo:	\$ 1.600	\$ 6.000	\$ 3.500	\$ 3.500	\$ 4.000,00
Tiempo de espera:	8 min	6 min	0 min	0 min	0 min
Cargo por congestión:	\$ 0	\$ 0	\$ 7.000	\$ 0	\$ 0,00

Por favor seleccione **\*sólo una\*** de las siguientes opciones:

- Bus y Metro
- Taxi
- Salir en auto y pagar el cargo por congestión
- Salir en auto antes del pico y placa
- Salir en auto después del pico y placa

Un ejemplo del segundo cuestionario es el siguiente:

**Características**

La información de esta encuesta **sólo se usará con fines académicos y el manejo de la información es confidencial**. En ningún momento se le preguntará nombre, número de identificación o algún dato que pueda ligarlo(a) a los datos contenidos aquí y seleccionados por usted.

**\* Sexo:**

Por favor seleccione **sólo una\*** de las siguientes opciones:

- Femenino
- Masculino

**\* Barrio: Escriba el barrio donde se encuentra ubicada su residencia**

Por favor, escriba su respuesta aquí:

**\* Ingresos: Seleccione su nivel de ingresos.**

Por favor seleccione **\*sólo una\*** de las siguientes opciones:

- \$0 - \$500.000
- \$500.000 - \$1.000.000
- \$1.000.000 - \$2.000.000
- \$2.000.000 - \$4.000.000
- Más de \$4.000.000

Pantallazo de la aplicación desde la página web como administrador:



## ANEXO B

### DISEÑO DE LA ENCUESTA DE PREFERENCIAS DECLARADAS

#### A. VARIABLES Y NIVELES

Variables:	Niveles:
(Tv) Tiempo de Viaje	3
(C) Costo de usar el modo	3
(Cc) Cobro del cargo por congestión	2
(Te) Tiempo de Espera	2

#### B. CONFIGURACIÓN DE LOS CASOS

Tablas de Kocur – Plan maestro 3.

Plan Master 3 (9 Trials)			
1	2	7	8
0	0	0	0
0	1	1	0
0	2	0	1
1	0	1	1
1	1	1	0
1	2	0	0
2	0	0	0
2	1	0	1
2	2	1	0

Con la generación de números aleatorios se dispuso a reordenar las filas de la tabla de Kocur acorde al número de alternativas planteadas. La configuración de las tablas es necesaria para la estructuración de los nueve casos de la encuesta de preferencias declaradas.

Para cada uno de los niveles y variables se definieron las tarifas y los tiempos para cada uno de los modos.

		0	1	2	
1. Bus y Metro	Tv BUSMET	35	40	45	(BUS+METRO) La elección de bus y metro se presenta cuando el conductor cambia de modo al tener la restricción y no desea pagar peaje para sacar su vehículo aunque pueda significar salir un poco más temprano
	C BUSMET	1600	1900	2200	
	Te BUSMET	8	6		
	Cc BUSMET	0	0		
2. Taxi	Tv TAXI	15	20	25	(TAXI) La elección de taxi se presenta cuando el conductor cambia de modo al tener la restricción y no desea pagar peaje para sacar su vehículo y tampoco desea salir más temprano o más tarde del horario de restricción
	C TAXI	5000	6000	7000	
	Te TAXI	6	4		
	Cc TAXI	0	0		
3. Salir en auto durante pico y placa y pagar el cargo por congestión	Tv SPU	15	20	25	(SPU) Esta elección se presenta cuando el conductor desea salir en su auto pese a la restricción de pico y placa, y por ende asume el pago del peaje (o cobro por congestión)
	C SPU	3000	3500	4000	
	Te SPU	0	0		
	Cc SPU	7000	10000		
4. Salir en auto antes de que aplique el pico y placa	Tv SAA	15	20	25	(SAA) Esta elección se presenta cuando el conductor desea salir en su auto ANTES de que opere la restricción de pico y placa, y por ende no asume el costo del peaje (o pago del cobro por congestión)
	C SAA	3000	3500	4000	
	Te SAA	0	0		
	Cc SAA	0	0		
5. Salir en auto después de que aplique el pico y placa	Tv SAD	15	20	25	(SAD) Esta elección se presenta cuando el conductor desea salir en su auto DESPUÉS de que opere la restricción de pico y placa, y por ende no asume el costo del peaje (o pago del cobro por congestión)
	C SAD	3000	3500	4000	
	Te SAD	0	0		
	Cc SAD	0	0		

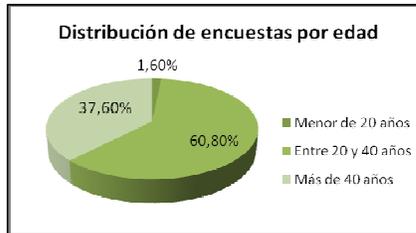
## ANEXO C

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CARACTERIZACIÓN DEL INDIVIDUO

A. Distribución de encuestas por sexo



B. Distribución de encuestas por edad



C. Distribución de encuestas por motivo de viaje



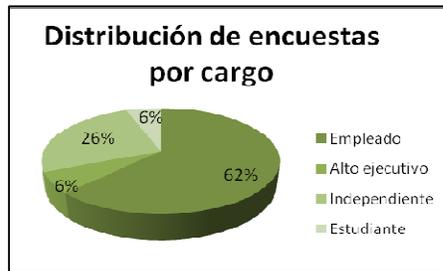
D. Distribución de encuestas por estrato



E. Distribución de encuestas por salario



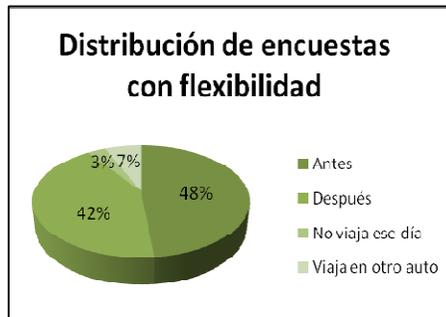
F. Distribución de encuestas por cargo



G. Distribución de encuestas por flexibilidad



H. Distribución de encuestas con flexibilidad



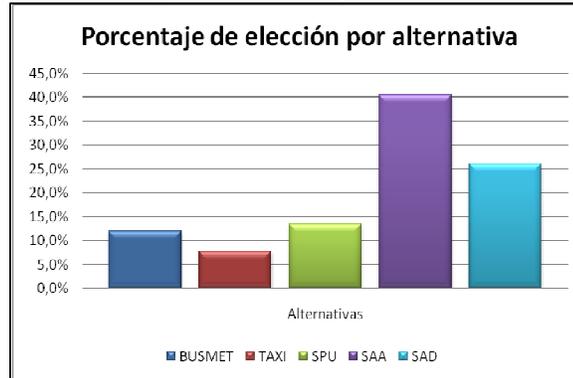
I. Distribución de encuestas por acompañamiento



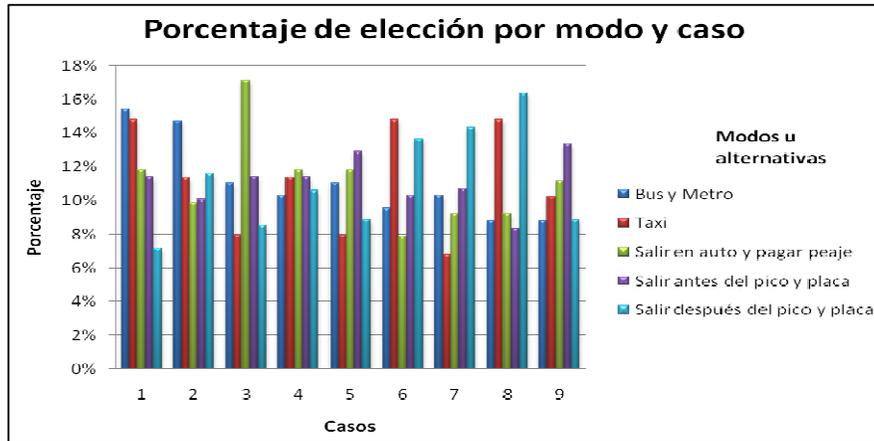
J. Distribución de encuestas por hora de inicio de actividades



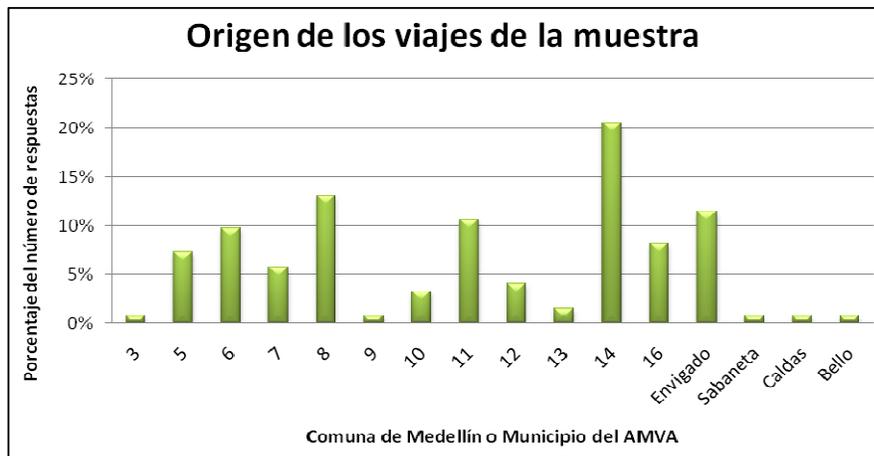
K. Porcentaje de elección por alternativa



L. Porcentaje de elección por modo y caso



M. Origen de los viajes de la muestra



N. Mapa de Medellín por comunas



## ANEXO D

### PREGUNTAS GUÍA PARA ENTREVISTAS A PROFUNDIDAD Y TRANSCRIPCIONES

1. ¿Cuál es el motivo de su viaje más frecuente durante la semana?  
¿Usted cómo va al trabajo?  
¿Utiliza el automóvil para desplazarse o utiliza otros modos alternativos de transporte como el taxi, bus o metro?  
¿Habitualmente cuándo va al trabajo lo hace en automóvil?
2. Los datos indican que las personas con auto no desean abandonar su vehículo. ¿Por qué cree que esto pasa?  
¿Cómo se haría más atractivo el transporte público a los usuarios de vehículo particular?
3. La medida del Pico y Placa aplica durante las horas pico de la mañana y tarde. ¿Cómo le afecta la medida del Pico y Placa?  
¿Qué opina de la modificación del Pico y Placa a dos días a la semana?  
¿Considera que la medida del Pico y Placa resuelve en alguna medida el efecto de la congestión en la ciudad?  
¿Piensa que el horario que establece la restricción (6:30 am – 8:30 am y 5:30 pm – 7:30 pm) es suficiente para mitigar los problemas de movilidad durante la hora pico o en general para todo el día?
4. El cobro de un cargo por congestión a través de peajes urbanos ha sido una medida ampliamente utilizada en grandes ciudades para controlar la congestión, en términos generales este peaje corresponde a un cobro que se le hace al propietario de un vehículo si este desea usarlo en las zonas u horarios restringidos.  
En el hipotético caso en que se le presente la oportunidad o la opción de liberarse de la medida del Pico y Placa a cambio de pagar un cobro por congestión, ¿usted pagaría?  
En caso afirmativo ¿cuánto pagaría?  
¿En qué condiciones pagaría? ¿Cuántos días al mes pagaría?
5. ¿Usted cree que la tenencia de un vehículo proporciona estatus a su propietario?  
¿Viajar en auto le genera confort y seguridad? ¿Por qué?  
¿Le es difícil pensar en desplazarse utilizando el transporte público? ¿Por qué?  
¿Considera que el transporte público se acomoda a sus necesidades de desplazamiento?

## TRANSCRIPCIONES

*JULIANA ARENAS (Estrato 3)*

Entrevistador: ¿Cuál es el motivo de su viaje más frecuente durante la semana?  
Juliana: Trabajo  
Entrevistador: ¿Usted cómo va al trabajo?  
Juliana: En carro propio.  
Entrevistador: ¿Utiliza el automóvil para desplazarse o utiliza otros modos alternativos de transporte como el taxi, bus o metro?  
Juliana: No, sólo el automóvil.  
Entrevistador: ¿Habitualmente cuándo va al trabajo lo hace en automóvil?  
Juliana: Sí  
Entrevistador: Los datos indican que las personas con auto no desean abandonar su vehículo. ¿Por qué cree esto pasa?  
Juliana: Por la comodidad.  
Entrevistador: ¿Cómo se haría más atractivo el transporte público a los usuarios de vehículo particular?  
Juliana: Como la delicadeza, pues porque los buseros son muy poco respetuosos en todo el sentido de la palabra, que fueran más amables, más serviciales, como más atento a esperar que el usuario esté ya acomodado, pero no, uno no se abajado y ya arrancaron, uno no se ha sentado y ya arrancaron, entonces como esas cosas. No respetan como a los demás vehículos, son demasiado rápidos pues con las carreras con los otros buses, entonces son como muchas cosas que no, y pues la inseguridad.  
Entrevistador: La medida del Pico y Placa aplica durante las horas pico de la mañana y tarde. ¿Cómo le afecta la medida del Pico y Placa?  
Juliana: Mucho, porque uno tiene que estar cambiando el horario de la oficina, pedirle a un compañero que le cambie el turno o hablar con el jefe "no es que tengo pico y placa", una reunión "es que tengo pico y placa". Como a uno no le gusta coger otro medio de transporte entonces busca todas las maneras posibles para que sea en el carro y entonces lo atrasa a uno en muchas cosas.  
Entrevistador: ¿Qué opina de la modificación del Pico y Placa a dos días a la semana?  
Juliana: Fatal, si lo perjudica a uno un montón de cosas en un solo día y dos, horrible.  
Entrevistador: ¿Considera que la medida del Pico y Placa resuelve en alguna medida el efecto de la congestión en la ciudad?  
Juliana: Para nada, yo la veo a todo hora congestionada, así me toque pico y placa o no, es lo mismo.  
Entrevistador: ¿Piensa que el horario que establece la restricción (6:30 am – 8:30 am y 5:30 pm – 7:30 pm) es suficiente para mitigar los problemas de movilidad durante la hora pico o en general para todo el día?  
Juliana: No, o sea, ninguna de las dos, no descongestiona con el pico y placa y en esas horas y en todo el día pues si sería pues más que innecesario.  
Entrevistador: El cobro de un cargo por congestión a través de peajes urbanos ha sido una medida ampliamente utilizada en grandes ciudades para controlar la congestión, en términos generales este peaje corresponde a un cobro que se

le hace al propietario de un vehículo si este desea usarlo en las zonas u horarios restringidos.

En el hipotético caso en que se le presente la oportunidad o la opción de liberarse de la medida del Pico y Placa a cambio de pagar un cobro por congestión, ¿usted pagaría?

Juliana: No tampoco, porque aparte ya nos cobran impuestos, semaforización, un montón de cosas, rodamiento y todo que pues ya, suficiente. No es culpa de nosotros que no sepan controlar el tráfico los propios que manejan pues como el tránsito, entonces no es culpa de los conductores.

Entrevistador: ¿Usted cree que la tenencia de un vehículo proporciona estatus a su propietario?

Juliana: No

Entrevistador: ¿Viajar en auto le genera confort y seguridad? ¿Por qué?

Juliana: Sí, pues es más seguro uno estar dentro de un vehículo, controlando a que exposición quiere estar uno del público, porque uno tiene las ventanillas arriba, los seguros de los autos, en cambio en un transporte público no, a uno le pueden arrebatar el bolso y todo, en cambio usted lo tiene protegido. Es mucha la seguridad que uno tiene en un carro, aunque eso a uno no le asegura nada, pero si porque si usted está en un bus no hay un seguro que le responda, si usted tiene el carro está seguro que el carro responde por usted y por el carro, entonces son muchas cosas.

Entrevistador: ¿Le es difícil pensar en desplazarse utilizando el transporte público? ¿Por qué?

Juliana: Sí, porque por ejemplo mi cargo es rotando mes por mes en oficinas, entonces como un día puedo estar cerquita de mi casa otro mes puedo estar en Bello o en comunas malucas, entonces es muy complicado para mí usar transporte público, súper difícil.

Entrevistador: ¿Considera que el transporte público se acomoda a sus necesidades de desplazamiento?

Juliana: No, muchas veces no. Casi nunca porque me toca coger a veces dos medios de transporte entonces se sube mucho el costo en los pasajes mensuales y todo eso, en cambio con el vehículo es sólo echarle gasolina y usted va directo a donde tiene que llegar.

LINA MARÍA CANO (Estrato 4)

Entrevistador: ¿Cuál es el motivo de su viaje más frecuente durante la semana?  
Lina María: El motivo más frecuente de viaje, el trabajo, desplazarme diariamente a mi lugar de trabajo.  
Entrevistador: ¿Usted cómo va al trabajo?  
Lina María: En transporte público.  
Entrevistador: ¿Utiliza el automóvil para desplazarse o utiliza otros modos alternativos de transporte como el taxi, bus o metro?  
Lina María: El taxi y el bus.  
Entrevistador: ¿Habitualmente cuándo va al trabajo lo hace en automóvil?  
Lina María: Ocasionalmente.  
Entrevistador: Los datos indican que las personas con auto no desean abandonar su vehículo. ¿Por qué cree esto pasa?  
Lina María: Por la comodidad y el tiempo que uno reduce a los desplazamientos a los lugares.  
Entrevistador: ¿Cómo se haría más atractivo el transporte público a los usuarios de vehículo particular?  
Lina María: De pronto con un mayor flujo de vehículos y sin tantos paraderos.  
Entrevistador: La medida del Pico y Placa aplica durante las horas pico de la mañana y tarde. ¿Cómo le afecta la medida del Pico y Placa?  
Lina María: Mucho porque uno deja de salir en su vehículo dos días a la semana, entonces eso genera traumatismos en el transporte.  
Entrevistador: ¿Qué opina de la modificación del Pico y Placa a dos días a la semana?  
Lina María: No me parece conveniente, creo que sería mejor un solo día así fuera de pronto una jornada más extensa.  
Entrevistador: ¿Considera que la medida del Pico y Placa resuelve en alguna medida el efecto de la congestión en la ciudad?  
Lina María: No, no creo que sea lo más conveniente, podrían explorarse otras alternativas más la descongestión vehicular.  
Entrevistador: ¿Piensa que el horario que establece la restricción (6:30 am – 8:30 am y 5:30 pm – 7:30 pm) es suficiente para mitigar los problemas de movilidad durante la hora pico o en general para todo el día?  
Lina María: No me parece que sean los horarios más adecuados porque a veces genera, sobre todo en la jornada de la tarde, que el pico y placa hace que los trancones sean un poquito más temprano, entonces no está siendo efectiva esa medida.  
Entrevistador: El cobro de un cargo por congestión a través de peajes urbanos ha sido una medida ampliamente utilizada en grandes ciudades para controlar la congestión, en términos generales este peaje corresponde a un cobro que se le hace al propietario de un vehículo si este desea usarlo en las zonas u horarios restringidos.  
En el hipotético caso en que se le presente la oportunidad o la opción de liberarse de la medida del Pico y Placa a cambio de pagar un cobro por congestión, ¿usted pagaría?  
Lina María: No, no lo pagaría porque de todas maneras si fuera esa la solución entonces todo el mundo haría el pago y seguiría la misma congestión a todas las horas del día, entonces esa no es una solución valedera para mí.  
Entrevistador: ¿Usted cree que la tenencia de un vehículo proporciona estatus a su propietario?

Lina María: Por supuesto.

Entrevistador: ¿Viajar en auto le genera confort y seguridad? ¿Por qué?

Lina María: Sí, porque uno tiene como más manejo de su espacio, de su tiempo y no está expuesto a la parte pública que a veces es un poquito riesgosa.

Entrevistador: ¿Le es difícil pensar en desplazarse utilizando el transporte público?  
¿Por qué?

Lina María: A veces si, por las congestiones. Las frecuencias del transporte a veces son demasiado extensas, entonces uno se demora más.

Entrevistador: ¿Considera que el transporte público se acomoda a sus necesidades de desplazamiento?

Lina María: Sí

CATALINA ARROYAVE (Estrato 4)

Entrevistador: ¿Cuál es el motivo de su viaje más frecuente durante la semana?  
Catalina: Trabajo  
Entrevistador: ¿Usted cómo va al trabajo?  
Catalina: En vehículo particular.  
Entrevistador: ¿Utiliza el automóvil para desplazarse o utiliza otros modos alternativos de transporte como el taxi, bus o metro?  
Catalina: El vehículo propio, pero cuando hay pico y placa me toca en taxi.  
Entrevistador: ¿Habitualmente cuándo va al trabajo lo hace en automóvil?  
Catalina: Sí  
Entrevistador: Los datos indican que las personas con auto no desean abandonar su vehículo. ¿Por qué cree esto pasa?  
Catalina: Por comodidad y por economía.  
Entrevistador: ¿Cómo se haría más atractivo el transporte público a los usuarios de vehículo particular?  
Catalina: Que pasen más a menudo, que sean más cómodos, que no sean tan a velocidades tan altas o como tan bruscos.  
Entrevistador: La medida del Pico y Placa aplica durante las horas pico de la mañana y tarde. ¿Cómo le afecta la medida del Pico y Placa?  
Catalina: Muchísimo, porque me toca por ejemplo los lunes y viernes. Muchas veces son los días, en esta época, en que tenemos las reuniones, entonces estamos en la oficina por ahí a las 7:00 am, o me toca madrugar mucho y quedarme hasta muy tarde o coger taxi.  
Entrevistador: ¿Qué opina de la modificación del Pico y Placa a dos días a la semana?  
Catalina: Mortal, me parece súper súper difícil.  
Entrevistador: ¿Considera que la medida del Pico y Placa resuelve en alguna medida el efecto de la congestión en la ciudad?  
Catalina: Pues en cierta medida, de pronto sí, pero siento muchas veces cuando salgo a las 8:30 am que se está trasladando también esa congestión a esa hora, entonces nos perjudica entonces también en el trabajo, pero la verdad no estoy como muy de acuerdo con la medida.  
Entrevistador: ¿Piensa que el horario que establece la restricción (6:30 am – 8:30 am y 5:30 pm – 7:30 pm) es suficiente para mitigar los problemas de movilidad durante la hora pico o en general para todo el día?  
Catalina: No, pienso que no es una medida adecuada, adicional a eso pienso que la mejor medida sería hacer más vías, es como lo mejor, hacer más vías.  
Entrevistador: El cobro de un cargo por congestión a través de peajes urbanos ha sido una medida ampliamente utilizada en grandes ciudades para controlar la congestión, en términos generales este peaje corresponde a un cobro que se le hace al propietario de un vehículo si este desea usarlo en las zonas u horarios restringidos.  
En el hipotético caso en que se le presente la oportunidad o la opción de liberarse de la medida del Pico y Placa a cambio de pagar un cobro por congestión, ¿usted pagaría?  
Catalina: No sé, dependiendo de cómo fuera la medida, pero me parece que no es la solución.  
Entrevistador: ¿Usted cree que la tenencia de un vehículo proporciona estatus a su propietario?  
Catalina: No, es más bien una necesidad.

Entrevistador: ¿Viajar en auto le genera confort y seguridad? ¿Por qué?

Catalina: Si, porque puedo controlar más mi tiempo.

Entrevistador: ¿Le es difícil pensar en desplazarse utilizando el transporte público?  
¿Por qué?

Catalina: Si, porque tengo que salir más temprano, a las citas, a la casa, se me restringe mucho el tiempo.

Entrevistador: ¿Considera que el transporte público se acomoda a sus necesidades de desplazamiento?

Catalina: No.

BEATRIZ IZQUIERDO (Estrato 5)

Entrevistador: ¿Cuál es el motivo de su viaje más frecuente durante la semana?  
Beatriz: Trabajo  
Entrevistador: ¿Usted cómo va al trabajo?  
Beatriz: En carro  
Entrevistador: ¿Utiliza el automóvil para desplazarse o utiliza otros modos alternativos de transporte como el taxi, bus o metro?  
Beatriz: No, carro, vehículo propio.  
Entrevistador: ¿Habitualmente cuándo va al trabajo lo hace en automóvil?  
Beatriz: Sí  
Entrevistador: Los datos indican que las personas con auto no desean abandonar su vehículo. ¿Por qué cree esto pasa?  
Beatriz: Por comodidad.  
Entrevistador: ¿Cómo se haría más atractivo el transporte público a los usuarios de vehículo particular?  
Beatriz: Que fuera como de fácil acceso.  
Entrevistador: La medida del Pico y Placa aplica durante las horas pico de la mañana y tarde. ¿Cómo le afecta la medida del Pico y Placa?  
Beatriz: Hasta ahora en nada, porque tengo un horario de trabajo flexible.  
Entrevistador: ¿Qué opina de la modificación del Pico y Placa a dos días a la semana?  
Beatriz: Horrible  
Entrevistador: ¿Considera que la medida del Pico y Placa resuelve en alguna medida el efecto de la congestión en la ciudad?  
Beatriz: Pues si fuera todo el día de pronto sí, pero como está hoy no.  
Entrevistador: ¿Piensa que el horario que establece la restricción (6:30 am – 8:30 am y 5:30 pm – 7:30 pm) es suficiente para mitigar los problemas de movilidad durante la hora pico o en general para todo el día?  
Beatriz: En todo el día.  
Entrevistador: El cobro de un cargo por congestión a través de peajes urbanos ha sido una medida ampliamente utilizada en grandes ciudades para controlar la congestión, en términos generales este peaje corresponde a un cobro que se le hace al propietario de un vehículo si este desea usarlo en las zonas u horarios restringidos.  
En el hipotético caso en que se le presente la oportunidad o la opción de liberarse de la medida del Pico y Placa a cambio de pagar un cobro por congestión, ¿usted pagaría?  
Beatriz: No  
Entrevistador: ¿Usted cree que la tenencia de un vehículo proporciona estatus a su propietario?  
Beatriz: Más que estatus, comodidad.  
Entrevistador: ¿Viajar en auto le genera confort y seguridad? ¿Por qué?  
Beatriz: Sí, confort y seguridad porque estoy yo misma en mi carro, no tengo que utilizar el transporte público.  
Entrevistador: ¿Le es difícil pensar en desplazarse utilizando el transporte público? ¿Por qué?  
Beatriz: Sí, porque me da pereza tener que pedir transporte público.  
Entrevistador: ¿Considera que el transporte público se acomoda a sus necesidades de desplazamiento?  
Beatriz: Hasta ahora no.

MARIA DEL CARMEN GIRALDO (Estrato 6)

Entrevistador: ¿Cuál es el motivo de su viaje más frecuente durante la semana?  
María del Carmen: Al gimnasio y al trabajo.  
Entrevistador: ¿Usted cómo va al trabajo?  
María del Carmen: Uso el carro y el metro.  
Entrevistador: ¿Utiliza el automóvil para desplazarse o utiliza otros modos alternativos de transporte como el taxi, bus o metro?  
María del Carmen: Metro.  
Entrevistador: ¿Habitualmente cuándo va al trabajo lo hace en automóvil?  
María del Carmen: Sí, pero no, yo me intercambio, depende porque mi trabajo es en muchas partes distintas. Yo soy vendedora entonces yo tengo que moverme mucho, entonces depende del lugar a donde yo tenga que ir.  
Entrevistador: Los datos indican que las personas con auto no desean abandonar su vehículo. ¿Por qué cree esto pasa?  
María del Carmen: No, por comodidad, por ejemplo si uno coge el metro pues tiene que caminar algunas veces, complementarse con el bus, en cambio tu coges el carro y llegas directamente al lugar que tu quieres llegar.  
Entrevistador: ¿Cómo se haría más atractivo el transporte público a los usuarios de vehículo particular?  
María del Carmen: No, yo digo que creando más líneas del metro, pues, como ampliando un poquito más eso, eso como en mi caso es ese.  
Entrevistador: La medida del Pico y Placa aplica durante las horas pico de la mañana y tarde. ¿Cómo le afecta la medida del Pico y Placa?  
María del Carmen: Para nada porque yo esos días me organizo con tiempo y esos días yo, o cojo el metro o madrugo más, y cuadro mis vueltas para que no haya ningún inconveniente.  
Entrevistador: ¿Qué opina de la modificación del Pico y Placa a dos días a la semana?  
María del Carmen: Me parece bien, aunque preferiría que fuera un solo día el día entero.  
Entrevistador: ¿Considera que la medida del Pico y Placa resuelve en alguna medida el efecto de la congestión en la ciudad?  
María del Carmen: No, sabes porque?, porque lo que hace es que el taco lo pone para cuando el pico y placa para, o sea, a las 8:30 am que tu coges el carro ya hay taco.  
Entrevistador: ¿Piensa que el horario que establece la restricción (6:30 am – 8:30 am y 5:30 pm – 7:30 pm) es suficiente para mitigar los problemas de movilidad durante la hora pico o en general para todo el día?  
María del Carmen: Yo diría que debería ser todo un día, pero solamente un día a la semana, dos me parece demasiado.  
Entrevistador: El cobro de un cargo por congestión a través de peajes urbanos ha sido una medida ampliamente utilizada en grandes ciudades para controlar la congestión, en términos generales este peaje corresponde a un cobro que se

le hace al propietario de un vehículo si este desea usarlo en las zonas u horarios restringidos.

En el hipotético caso en que se le presente la oportunidad o la opción de liberarse de la medida del Pico y Placa a cambio de pagar un cobro por congestión, ¿usted pagaría?

María del Carmen: No me parece, porque además del pico y placa de la congestión yo pienso que es una conciencia de la tierra porque la gasolina y todo eso hace daño al medio ambiente, entonces yo creo que no es cuestión de dinero, pienso que es cuestión de conciencia pública.

Entrevistador: En caso afirmativo ¿cuánto pagaría?

María del Carmen: No estoy de acuerdo.

Entrevistador: ¿En qué condiciones pagaría?

María del Carmen: No porque, es conciencia colectiva.

Entrevistador: ¿Usa regularmente (frecuentemente) el auto?

María del Carmen: Si, todos los días pero poco tiempo.

Entrevistador: ¿Usted cree que la tenencia de un vehículo proporciona estatus a su propietario?

María del Carmen: Sí

Entrevistador: ¿Viajar en auto le genera confort y seguridad? ¿Por qué?

María del Carmen: Por comodidad más que todo.

Entrevistador: ¿Le es difícil pensar en desplazarse utilizando el transporte público?  
¿Por qué?

María del Carmen: No, cuando he tenido el carro por ejemplo en el taller no me parece un inconveniente, yo no le veo inconveniente al transporte público.

Entrevistador: ¿Considera que el transporte público se acomoda a sus necesidades de desplazamiento?

María del Carmen: Pues hay que sacrificar un poco porque nunca es perfecto a donde uno va, pero si, en general sí, hay que mejorarlo un poquito, hay que poner más.

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

### Para uso y análisis de la información suministrada

Yo, \_\_\_\_\_ con C.C. \_\_\_\_\_ de  
\_\_\_\_\_ autorizo el uso y posterior análisis a la información  
contenida en la entrevista que hace parte de la investigación  
"Modelación de la Elección de Modo y Hora de Salida ante Pico y  
Placa combinado con Peaje Urbano". Tengo plena claridad de  
que su uso es estrictamente académico y de que la información no  
será usada para otros fines.

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Ciudad y fecha

## TRANSCRIPCIÓN GRUPO FOCAL

Lo que hay que tratar es de compensar entre lo que paga un ciudadano común que viaja en transporte público y el que viaja en vehículo particular.

Que opción tienen las personas de bajos recursos que adquirieron un vehículo y que no tienen la posibilidad económica de pagar un peaje pero tienen la necesidad de salir.

Es una oportunidad para recaudar recursos pero realmente no le aporta en nada a la ciudad.

Esto es similar a un régimen subsidiado, cobrarle al rico para poder subsidiar el transporte público a los pobres. En Colombia se acostumbra a hacer esto para todo, como por ejemplo vivienda y servicios públicos. (Damary Murillo, Arquitecta, 27 años)

Si se genera mayor infraestructura vial con los recursos captados por el peaje, entonces van a haber más carros.

Si yo voy a tener plata para el carro entonces voy a tener plata para la gasolina, de la misma manera para el pago del peaje.

Al de bajos recursos le toca hacer lo mismo que está haciendo ahora, dejar el carro o salir más temprano.

Si los recursos van a servir para construir más infraestructura vial, cómo va a ser eso si Medellín no tiene para donde crecer? Lo único viable sería generar un sistema de transporte masivo accesible a toda la comunidad.

Un pico y placa durante todo el día sí sería una medida que funcione. (Lina Jiménez, Arquitecta – Constructora, 28 años)

Si la propuesta del recurso captado por el peaje es invertirlo en nuevas vías y mejoramiento vial, entonces lo que se va a promover es un círculo vicioso con nuevo incremento del parque automotor.

Los que trabajan con el vehículo sufren de exclusión.

Que le aporta a la ciudad cambiar la descongestión y la descontaminación por plata

Si yo garantizo un sistema integrado de transportes para toda la ciudad puedo pedir (como administración municipal), incentivar el uso del transporte público. (Dagoberto Rojas, Abogado, 50 años)

Hay que poner el peaje en las vías que están congestionadas. Además debe aumentarse el horario de restricción del pico y placa, en esta ciudad el pico y placa es muy cortico y la cuota del peaje tiene que ser alta. El objetivo de este cobro debe ser recaudar recursos que deben ser invertidos en movilidad.

Los propietarios de vehículos que sean de estratos bajos se verán beneficiados una vez los recursos sean invertidos en transporte público. (María Paulina Villa, Arquitecta, 27 años)

Que haya peaje en toda la ciudad, pero con un cobro adicional a la entrada al centro o con restricción de ingreso.

Cuando tengo pico y placa yo decido si llego más tarde al trabajo en la mañana y salgo después de las 7:30 pm en la noche dependiendo del trabajo que tenga.

Hay personas que en los días de pico y placa prefieren salir después y quedarme hasta más tarde en el trabajo. A la final uno siempre resulta haciendo eso.

En la medida en que aumenten las horas (la extensión) del pico y placa más personas dejarán el vehículo guardado.

Un peaje urbano podría funcionar siempre que el período de restricción del pico y placa sea más extenso o durante todo el día, de 6 am a 8 pm por ejemplo. (Natalia Álvarez, Arquitecta, 28 años)

La medida no es excluyente porque todos salen beneficiados al tener un buen sistema integrado de transporte.

El objetivo de la medida no es sólo recaudar recursos sino también disminuir la congestión y mejorar la calidad del aire en la ciudad. (Fredy Cuesta, Ing. Ambiental, 26 años)

El pico y placa debería ser todo el día, porque ahora lo que ocurre es que los períodos picos se trasladan. (Andrés Felipe Pineda, Arquitecto Urbanista, 31 años)