

# POLÍTICAS PARA INFLUIR EN LA ELECCIÓN MODAL DE USUARIOS DE VEHÍCULO PRIVADO EN UNIVERSIDADES: CASO UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

## POLICIES TO INFLUENCE ON THE MODAL CHOICE OF THE PRIVATE VEHICLE USERS IN UNIVERSITIES: STUDY CASE: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

DIANA MORENO

*Profesora Escuela Ambiental - Programa de Ingeniería Civil - Universidad de Antioquia, dmoreno@udea.edu.co*

IVÁN SARMIENTO

*Profesor Escuela de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, irsarmie@unal.edu.co*

CARLOS GONZÁLEZ

*Profesor Escuela Ambiental - Programa de Ingeniería Civil - Universidad de Antioquia, gonzalez@udea.edu.co*

Recibido para revisar septiembre 15 de 2009, aceptado diciembre 18 de 2009, versión final febrero 18 de 2010

**RESUMEN:** Este artículo presenta un modelo de Reparto Modal de viajes desde y hacia la Universidad de Antioquia aplicando modelos desagregados tipo Logit y utilizando la técnica de preferencias declaradas (PD). Para ello se plantearon dos políticas, la primera cobrar una tarifa por todo un día a los vehículos que un día a la semana tienen su acceso restringido a la universidad, con el fin de levantarles tal restricción. La segunda política consiste en no tener ninguna restricción al acceso, sino cobrar el parqueo por horas en el interior de la universidad. Los modelos predicen el porcentaje de usuarios de auto que optarían por pagar o escogería otro modo en cada una de las dos políticas. La política elegida dependerá de los criterios que la Universidad aplique para el desarrollo del espacio de su campus y de lo que pretenda hacer con los ingresos del recaudo en cada una de las políticas.

**PALABRAS CLAVE:** Campus Universitario, Reparto Modal, Movilidad, Encuestas de Preferencias declaradas.

**ABSTRACT:** This paper tackles a Modal Split Model for Universidad de Antioquia based on transportation demand models using Stated Preferences technique and applying Logit Models. This raised two policies were raised, the first charge a fee for an entire day to vehicles that have restricted access to campus one day per week, in order to lift that restriction. The second policy consists in having no restrictions on access, but a parking charge for hours inside the university. The models predict the percentage of car users with willingness for pay or otherwise, choose in each of the two policies another mode. The final policy will depend on the criteria that the university apply for the development of the area of its campus and what they intend to do with the earnings from the collection in each of the policies.

**KEYWORDS:** University Campus, Modal Split, Mobility, Stated Preference Surveys

### 1. INTRODUCCIÓN

La movilidad en una ciudad tiene muchos y muy diferentes componentes y así mismo sus consecuencias afectan a diversos sectores de la sociedad como por ejemplo el sector económico, en el sentido de traslado de mercancías; el de la

salud, dado que es necesario garantizar fluidez en este servicio; el transporte público y el sector educativo, entre otros. En este último, el problema afecta de modo particular a los campus universitarios, que por lo general albergan una cantidad significativa de personas siendo entonces tanto generadores como atractores de

una porción importante de viajes en una comunidad, por lo que deberían ser uno de los puntos de interés de estudio dentro de toda la problemática. El problema de la congestión al ingreso de las universidades en la ciudad de Medellín es un asunto al que no pueden estar ajenos ni la comunidad ni el sector dirigente, que es el encargado de la planeación de la ciudad. Para nadie son un secreto las largas filas que se presentan al ingresar a los principales campus universitarios de la Ciudad. Las universidades en general han tratado de tomar sus propias medidas para mitigar un poco el problema de acceso de los vehículos particulares, congestionando vías públicas, y del espacio disponible para parqueo en el interior de los campus. Por ejemplo, en Bilbao, España, se ha estudiado la forma en la que el sector educativo, sobre todo el universitario, contribuye a los problemas de la movilidad en una ciudad [1]. Para este caso, la Universidad del País Vasco buscó obtener una función de la demanda de transporte para los estudiantes universitarios en el área de Bilbao y las variables principales que condicionan tal demanda.

De manera general las medidas que hasta ahora han sido adoptadas por algunas universidades en Medellín son la aplicación del Pico y Placa y el cobro del estacionamiento. El pico y placa es utilizado en la Universidad de Antioquia (U. de A.), EAFIT, Universidad de Medellín (U. de M.), Politécnico y Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). En cada una han hecho diferentes ensayos de aplicación de la medida desde que ésta empezó a regir en la ciudad en 2005. A 2009, la U. de A., la UPB y EAFIT tienen restricción de sólo un día a la semana por vehículo, pero es todo el día. En la U. de M. tienen restricción de entrada de dos días a la semana por vehículo y es igualmente todo el día. Otra medida que se aplica en dos de las Universidades, EAFIT y UPB, es el cobro de parqueadero a los vehículos que ingresan. En la primera el cobro se aplica sólo a estudiantes y visitantes, los profesores y empleados están exentos, al igual que los estudiantes de cursos de extensión (educación continuada). Este cobro se aplica una sola vez al día y tiene entradas ilimitadas, (los fondos obtenidos están destinados a desarrollo social al interior de la

Universidad). En la segunda la situación varía, allí el cobro se realiza por igual a todos aquellos que ingresen a la universidad y se hace por cada entrada. Los fondos recaudados se destinan para el mantenimiento de la infraestructura y la vigilancia. En las demás no se aplica ninguna tarifa.

En la U. de A., la más grande de la región, se ve el reflejo de la situación vehicular de la ciudad, pues aunque hay un predominio de los estratos 1, 2 y 3, (los más bajos), la motorización ha aumentado considerablemente en los últimos años, saturando la capacidad de parqueaderos y mostrando un corredor circunvalar bastante congestionado por el parqueo excesivo de motocicletas. La Ciudad Universitaria, como se le denomina al campus principal de la U. de A. que por sus políticas propias de cobertura es una de las principales zonas atractoras de viajes en el Valle de Aburrá, atrae 42.000 viajes diarios [2], cuenta con 14 facultades, 4 institutos y 4 escuelas para la formación universitaria a nivel de pregrado y postgrado; ella alberga aproximadamente 30.000 estudiantes de pregrado y alrededor de 1.500 de postgrado, 4.500 profesores, 1.500 trabajadores y 1.500 visitantes del público en general, todos ellos realizando viajes diarios hacia y desde el campus universitario.

Este artículo tiene como objetivo evaluar dos políticas haciendo un estudio de reparto modal por medio de la aplicación de modelos logit. Para esto, en el capítulo 2 se presentan las consideraciones generales de los modelos de elección y la técnica de preferencias declaradas (PD) para obtener la información para los modelos. Su aplicación al caso de la U. de A. se expone en el capítulo 3, y finalmente, en el capítulo 4 se presentan las conclusiones.

## 2. MODELACIÓN DEL REPARTO MODAL DE VIAJES

### 2.1 Consideraciones generales

Los modelos de elección discreta basados en la teoría de la utilidad aleatoria son de tipo estocástico en donde la probabilidad de obtener

una respuesta particular es función de un conjunto de variables explicativas, como las características socioeconómicas y la atraktividad relativa de cada opción.

Existen dos técnicas para la recolección de información útil en la modelación de problemas de transporte. Estas son denominadas Preferencias Reveladas (PR) y Preferencias Declaradas (PD). Las PR reflejan el comportamiento actual de los individuos en sus decisiones de viaje. Los datos se obtienen a partir de encuestas que permiten recoger información de las variables que explican la utilidad de las distintas alternativas y de las elecciones realizadas. Las PD obtienen respuestas de los individuos acerca de actuaciones que declaran realizar bajo determinadas *situaciones de elección hipotéticas*. A partir de allí se obtienen datos que permiten estimar funciones de utilidad con respecto a las alternativas presentes en el experimento; funciones en las que es posible establecer el efecto particular de cada uno de los atributos sobre la utilidad [3].

## 2.2 Diseño experimental de una encuesta PD

Para crear de manera satisfactoria el conjunto de situaciones hipotéticas a elegir por los individuos encuestados, en la referencia [4] se proponen los siguientes pasos: 1) identificación del ámbito de elección, factores a considerar y rango de variación probable; 2) versión inicial del experimento: borrador del cuestionario definitivo; 3) con la ayuda de un “grupo focal” mejorar las condiciones del cuestionario; 4) rediseño del cuestionario con las recomendaciones del “grupo focal”; 5) realización de una Encuesta Piloto, para evaluación de resultados y rediseño del cuestionario en caso de requerirse; 6) simulación para verificar si el cuestionario permite recuperar los valores de los parámetros de cada atributo.

Los factores o variables independientes pueden expresarse en escala continua con sus niveles (p.e. tarifa alta, media y baja; en escala continua los valores específicos); o en escala discreta con sus niveles (p.e. seguridad con sus niveles alta y baja, que en escala discreta sería 0 y 1). De esta forma se entiende que el número de

combinaciones posibles, crece de manera exponencial con el número de atributos involucrados; por lo cual los diseños factoriales fraccionados [4] son utilizados más comúnmente.

Si existen  $X$  factores con  $a$  niveles;  $Y$  factores con  $b$  niveles y  $Z$  factores con  $c$  niveles. Para la combinación de alternativas del cuestionario, se utiliza un diseño factorial con  $N$  casos de la forma:  $N=a^x b^y c^z$  (1)

## 3. MODELACIÓN DEL REPARTO MODAL PARA VIAJES QUE LLEGAN A LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

En la ciudad de Medellín se viene aplicando una restricción a la circulación de vehículos privados, aplicada cada día laboral a 4 tipos de placa (según su último dígito), durante dos periodos pico (“Pico y Placa”), es decir, afecta cada día al 40% de los vehículos privados de la ciudad y cada vehículo tiene restricción dos días a la semana. Algunas universidades locales como la U. de A han extendido esta medida restringiendo el acceso a su campus a esos mismos vehículos, pero lo hacen uno de los dos días durante todo el día (no hay restricción para motocicletas). En el caso de este estudio se buscó evaluar básicamente dos políticas que puedan contribuir a un mejoramiento de la movilidad al interior del campus, medidas que ayuden a controlar el uso del vehículo privado más allá de ampliar la oferta de parqueaderos.

La primera política es que aunque siga existiendo la medida de Pico y Placa en los horarios de la ciudad, se permita la entrada de vehículos con pico y placa a cambio del pago de una tarifa fija que debería ser sensiblemente más alta que el cobro de un parqueadero, pues la medida buscaría sobretodo que sólo los usuarios que realmente necesitan el vehículo durante ese día ingresen y que muchos se abstengan de usarlo por el cobro de la tarifa que exonera de la restricción. Esta política afectaría solamente al 20% de los vehículos cada día. La segunda política a evaluar es eliminar la medida de restricción de acceso en las horas no pico de la universidad pero cobrar el uso del parqueadero

por horas, dado que hasta ahora el parqueadero ha sido gratuito. Esta última política afecta al 100% de los vehículos cada día. Teniendo presente las políticas a evaluar se diseñaron las encuestas de PD y a continuación se presenta la metodología usada.

### 3.1 Ejecución de las encuestas

En este caso las encuestas PD se diseñaron utilizando las tablas ortogonales propuestas por [4] para lo cual se propusieron 3 variables: Tarifa total de viaje, el Tiempo de viaje que cuenta desde el momento de salir del lugar de origen del viaje (por ejemplo el hogar) hasta bajarse del modo transporte, y el Número de transbordos durante el viaje a la U. de A. Cada una de estas variables tuvo tres niveles: alto, medio y bajo, de esta manera siguiendo a [4] se obtiene el orden en que debe ir ubicada cada variable para garantizar una mezcla adecuada de las variables y evitar el sesgo en las preguntas.

Los tiempos de viaje y los costos de los modos, se calcularon a partir de las distancias del centroide de cada zona hasta la Ciudad Universitaria (como zonas se tomaron las 16 comunas en que está dividida Medellín y los municipios de Envigado e Itagüí, por su cercanía con Medellín y por ser el origen de una fracción importante de los integrantes de la comunidad universitaria), por lo tanto la encuesta se aplicó con valores específicos acordes a la comuna o municipio en la cual reside cada uno de los encuestados, es decir, se utilizó una tabla de costos y tarifas para cada comuna o municipio.

Se calculó el tiempo de recorrido de acuerdo con la velocidad media de los vehículos en hora Pico (Vehículo privado y taxis 25km/h, bus 18 km/h, Metro/Metroplús 30km/h) y sumándole un tiempo que va desde la salida de la casa hasta tomar el modo elegido, los tiempos de espera a que hubiera lugar y el tiempo desde que se deja el modo hasta que se ingresa a la Universidad [5]. Con base en esto se obtuvo el tiempo total de un recorrido que se supone desde el origen del encuestado hasta la Universidad. Las tarifas para un solo recorrido a pesos de 2008 eran para el Bus, \$1200, Metro \$1400 (valor medio, sin subsidios, debido a que hay muchas tarifas y descuentos), Metroplús \$1800 (este modo de transporte público colectivo, no había iniciado

operación para la fecha de este trabajo pero su inicio es inminente y, al igual que el Metro cuenta con una estación contigua a la Universidad y trabajaría también en sistema integrado con el Metro por lo que se convierte en una alternativa que interviene fuertemente la movilidad en la Ciudad), Taxi, Tarifa mínima \$3500 (banderazo \$1800 y \$70 por cada 85m de recorrido).

Se encuestaron personas con vehículo particular y se preguntó al encuestado por los modos de transporte público colectivo que tenía disponibles (Bus ó Metro y/o Metroplús), tratando de hacerle claridad sobre algunas rutas de buses y la del Metro y el Metroplús (la que tendrá una vez que entre en funcionamiento), para que pudiera dar la respuesta y poder presentarle los modos que más se ajusten a su realidad, de esta manera, se mostraba el número de alternativas de acuerdo con la disponibilidad manifestada por el encuestado, así se le mostraban los modos disponibles (auto y taxi siempre estaban disponibles). Luego se preguntó el lugar de procedencia, dependiendo de esta información y de los modos disponibles, se mostró al encuestado la tabla en la que aparecen los distintos Costos, Tiempos de Viaje y Número de transbordos, previamente calculados, para que eligiera el modo que usaría para ir a la Universidad. La variable de Número de Transbordos fue determinada por el modelador a partir del conocimiento previo de los modos ofrecidos. En algunos modos aparece con variabilidad de 0,1 y 2, pero en otros aparece con 0 en todos los casos, esta maniobra, aunque puede restar ortogonalidad a la matriz, permite ajustar las preguntas a casos más reales mejorando la veracidad de las respuestas de los encuestados.

Se le mostró a cada usuario el tiempo aproximado que se demoraría en ir desde su sitio habitual de origen hasta la Universidad en cada modo de transporte dependiendo de la disponibilidad del usuario de uno u otro modo (este valor se toma de los cálculos obtenidos de acuerdo a las velocidades de cada modo y coincidía, en general, con los que los usuarios percibían) ; y la tarifa por ingresar el vehículo privado a la Universidad en los días que éste tiene Pico y Placa, donde esta tarifa sería alta en

relación con las tarifas del servicio público, buscando desestimular el uso del vehículo privado.

También se registraron otras variables de tipo socio-económicas como el Sexo, Tipo de actividad desempeñada en la Universidad: si era profesor de tiempo completo o de cátedra, empleado no docente, o estudiante de pregrado o de posgrado. El contexto de estas preguntas es un día normal, entre semana (de martes a jueves) y seco (sin lluvia) y esta encuesta se aplicó a una muestra total de 102 usuarios para la política sobre el pico y placa y 104 usuarios para la política del parqueadero. Realizada la encuesta, se procesaron cerca de 900 respuestas, ya que a cada usuario se le plantearon 9 alternativas en la encuesta [6]. Se encontró que el reparto modal está dado por: servicio público colectivo (bus y Metro) es del 53.5%, servicio público individual (Taxi) 1.95%, en modos no motorizados (a pie, bicicleta) aproximadamente 10.27%, vehículo privado 11.78%, y motocicletas 22.5%. [5].

### 3.2 Modelación con encuestas PD

Se plantearon dos tipos de políticas, la primera apuntando a la disposición de pago de los usuarios con vehículo privado en caso de querer levantar la restricción del Pico y Placa que se aplica en la Universidad, al proponer **un pago alto por ingresar el vehículo el día** que le corresponde la prohibición, esto comparado con realizar el viaje en otras alternativas como el Taxi, el Bus, y El Metro/ Metroplús (el pago no levanta la restricción de dos horas en la mañana y en la tarde que existen en la ciudad, sino sólo la restricción para acceder a la universidad). La segunda política se refiere a la disposición para el pago de un **parqueadero por horas** a cambio de eliminar la restricción de acceso existente actualmente, y de la misma manera que en la primera política, se enfrentaría contra los otros modos de transporte.

Con las variables Costo del modo  $k$  ( $C_k$ ), Tiempo de viaje del modo  $k$  ( $T_{V_k}$ ) y número de Transbordos en el modo  $k$  ( $Tr_k$ ) se define la Función de Utilidad  $U_k$ , como sigue:

$$U_k = \beta_k + \theta_c C_k + \theta_{Tv} T_{V_k} + \theta_{Tr} Tr_k \quad (2)$$

Donde,  $\theta_c$ ,  $\theta_{Tv}$ ,  $\theta_{Tr}$ : son los parámetros de las variables  $C_k$ ,  $T_{V_k}$ ,  $Tr_k$  definidas anteriormente; y  $\beta_k$  es la constante modal.

Se muestran a continuación los modelos realizados con los datos PD para ambas políticas, tanto la del Pico y Placa con Pago exonerado como la del Pago de Parqueadero por horas sin restricción de acceso. En las dos situaciones se trabajaron diversas expresiones para la función de utilidad, donde algunas veces las variables dieron no significativas y por lo tanto, se seleccionaron los modelos que presentaban mejores resultados.

Se modeló la elección de ambas políticas con un Logit Multinomial (MNL) y también con un Logit Jerárquico (HL). Para el caso de los modelos HL, éstos fueron planteados con dos Nodos, uno para transporte público compuesto por la alternativa de Bus y Metro/Metroplús y el otro para transporte privado compuesto por la alternativa de Taxi y automóvil. Para la modelación se utilizó el software Biogeme® [7].

#### 3.2.1 Política 1: Pago por ingresar a la U. de A el día de restricción de ingreso por Pico y Placa

Para los modelos presentados a continuación se tomó el conjunto de todos los datos de la encuesta aplicada para el cobro de ingreso y parqueo durante el día que hay restricción de ingreso por Pico y Placa a la Universidad. En la Tabla 1 se muestran los modelos realizados. En el primer caso estudiado (MNL1\_PDCOMUN y HL1\_PDCOMUN) se tuvo en cuenta todas las alternativas y variables, el segundo caso (MNL2\_PDCOMUN y HL2\_PDCOMUN), se modeló eliminando la variable del Transbordo. Para el tercer caso (MNL3\_PDCOMUN y HL3\_PDCOMUN), se tomó la muestra inicial y a ésta se le retiraron las respuestas de encuestados que presentaron comportamiento lexicográfico, como usuarios cautivos de un modo, al aplicar este procedimiento el tamaño de la muestra se redujo en cerca del 55%. En el cuarto caso (MNL4\_PDCOMUN), a diferencia de los anteriores, sólo se modeló utilizando MNL donde se trabajó con la misma muestra de los modelos del tercer caso (sin lexicográficos),

y además se eliminó la variable Trasbordo para ver el comportamiento de las demás variables.

En los modelos obtenidos en el primer y segundo caso, las variables presentan signo negativo (acorde con el significado de la función de Utilidad) y valores del test t significativos al 95% ( $t\text{-test} \geq |1.96|$ ). Se puede observar que para ambos casos y ambos tipos de modelos (MNL y HL), los coeficientes dieron el mismo valor y adicionalmente para el modelo HL1\_PDCOMUN y HL2\_PDCOMUN el valor obtenido de  $\phi$  es 1.0, por lo tanto podría

concluirse que en ambos casos el modelo HL colapsa al MNL. Para los modelos del tercer y cuarto caso se observa que tanto para el MNL3\_PDCOMUN, el MNL4\_PDCOMUN y el HL3\_PDCOMUN se obtuvieron los mismos valores en las variables y en los coeficientes de los parámetros. Se puede observar que los signos de las variables son acordes (negativos) pero el valor del test-t es significativo al 95% sólo para la variable Costo, por lo que no son aceptados [5]. Además el valor obtenido para los  $\phi$  es de 1.0 en el modelo HL, por lo que éste colapsa al MNL.

**Tabla 1.** Modelos obtenidos para la Política 1

**Table 1.** Models obtained for Policy 1

| Parámetro     | MNL1_PDCOMUN |          | HL1_PDCOMUN |          | MNL2_PDCOMUN |          | HL2_PDCOMUN |           | MNL3_PDCOMUN |          | HL3_PDCOMUN |          | MNL4_PDCOMUN |          |
|---------------|--------------|----------|-------------|----------|--------------|----------|-------------|-----------|--------------|----------|-------------|----------|--------------|----------|
|               | Valor        | t - test | Valor       | t - test | Valor        | t - test | Valor       | t - test  | Valor        | t - test | Valor       | t - test | Valor        | t - test |
| $\beta_1$     | 0,874        | 3,73     | 0,874       | 3,73     | 1,17         | 5,39     | 1,17        | 5,39      | 3,27         | 8,47     | 3,27        | 8,47     | 3,56         | 10,19    |
| $\beta_2$     | -0,920       | -4,35    | -0,920      | -4,35    | -0,565       | -3,17    | -0,565      | -3,17     | 1,11         | 3,43     | 1,11        | 3,43     | 1,44         | 5,63     |
| $\beta_3$     | 0            | Fijo     | 0           | Fijo     | 0            | Fijo     | 0           | Fijo      | 0            | Fijo     | 0           | Fijo     | 0            | Fijo     |
| $\beta_4$     | -0,578       | -2,77    | -0,578      | -2,77    | -0,572       | -2,72    | -0,572      | -2,72     | -0,528       | -1,79    | -0,528      | -1,79    | -0,519       | -1,74    |
| $\Theta_c$    | -0,000308    | -14,55   | -0,000308   | -14,55   | -0,000294    | -14,4    | -0,000294   | -14,4     | -0,000552    | -13,86   | -0,000552   | -13,86   | -0,000544    | -13,8    |
| $\Theta_{tr}$ | -0,457       | -3,05    | -0,457      | -3,05    | -            | -        | -           | -         | -0,349       | -1,58    | -0,349      | -1,58    | -            | -        |
| $\Theta_{TV}$ | -0,0264      | -2,51    | -0,0264     | -2,51    | -0,0215      | -2,07    | -0,0215     | -2,07     | -0,0158      | -1,06    | -0,0158     | -1,06    | -0,0101      | -0,7     |
| $\Phi_1$      | -            | -        | 1           | 0        | -            | -        | 1           | 472.1     | -            | -        | 1           | 0        | -            | -        |
| $\Phi_2$      | -            | -        | 1           | 0        | -            | -        | 1           | 367849.18 | -            | -        | 1           | 114.53   | -            | -        |
| $\rho^2$      | 0,333        |          | 0,333       |          | 0,328        |          | 0,328       |           | 0,438        |          | 0,438       |          | 0,436        |          |
| $L(\Theta)$   | -661.515     |          | -661.515    |          | -666.266     |          | -666.266    |           | -336.93      |          | -336.930    |          | -338.187     |          |
|               | Aceptado     |          | No Aceptado |          | Aceptado     |          | No Aceptado |           | No aceptado  |          | No aceptado |          | No aceptado  |          |

Para la evaluación Test y jerarquización de los modelos se hizo un primer escalonamiento al observar los signos de las variables, los valores de los t-test y los valores de  $\Phi$ . Con esta primera comparación se aceptaron algunos modelos y se rechazaron otros. La metodología aplicada para realizar este ranking consistió en verificar en primer lugar que los signos de las variables incluidas fueran los correctos de acuerdo a las hipótesis iniciales. Posteriormente, se revisó que las variables más relevantes para explicar la utilidad asociada al viaje, fueran significativas al 95%, y finalmente se observaron los resultados de los test rho-cuadrado ( $\rho^2$ ) y el valor de máxima verosimilitud  $L(\theta)$ , suponiendo como mejores aquellos que en ambos casos reporten valores más altos (para  $L(\theta)$  cercanos a cero).

En la Tabla 1 se observa que los dos mejores modelos cumplen con los signos y con las

variables significativas además ambos presentan valores de  $\rho^2$  y  $L(\Theta)$  similares aunque no iguales. El modelo MNL1\_PDCOMUN presenta una significancia más alta de las variables y valores más altos de  $\rho^2$  y de  $L(\Theta)$  que el MNL2\_PDCOMUN. Por lo tanto se elige el MNL1\_PDCOMUN como el mejor modelo para la Política 1.

### 3.2.2 Política 2: Pago por horas por parqueo

Para obtener los modelos presentados en la Tabla 2, se tomó el conjunto de datos de la encuesta aplicada para el cobro del parqueo por horas que eliminaría el día de restricción de ingreso a la Universidad. Los modelos obtenidos en el primer caso, (MNL1\_PDPARQ y HL1\_PDPARQ) tienen en cuenta todas las alternativas y variables, en el segundo caso (MNL2\_PDPARQ y HL2\_PDPARQ) se modeló

eliminando la variable del Tránsito. Para el tercer caso (MNL3\_PDPARQ y HL3\_PDPARQ), se tomó la muestra inicial y a ésta se le retiraron las respuestas de encuestados que presentaron comportamiento lexicográfico, como usuarios cautivos de un modo, al aplicar este procedimiento el tamaño de la muestra se redujo en un poco más del 40%. Todos los modelos obtenidos hasta este punto, para la Política 2, tienen problemas en la consistencia de los signos o algunas de las variables no son significativas al 95% por lo que ninguno de los modelos anteriores es aceptado. En el cuarto caso (MNL4\_PDCOMUN y HL4\_PDPARQ) se

trabajó con la misma muestra de los modelos del tercer caso, y además se eliminó la variable Tránsito para ver el comportamiento de las demás variables [5] (Ver Tabla 2).

De los modelos presentados en la Tabla 2 se observa que el HL4\_PDPARQ tiene signos consistentes, y tiene el valor de  $\Phi_1$  distinto de 1.0, pero no es aceptado debido a que los valores del t-test no son significativos al 95% (aunque lo son para el 90%) para las dos variables estudiadas. En el modelo MNL4\_PDPARQ los signos son también consistentes y las variables del modelo son significativas, por lo tanto para la política 2, éste es el modelo aceptado.

**Tabla 2.** Modelos MNL4 y HL4 con datos PD para Política 2  
**Table 2.** HL4 and MNL4 Models with PD data for Policy 2

| Parámetro     | MNL4_PDPARQ |          | HL4_PDPARQ  |          |
|---------------|-------------|----------|-------------|----------|
|               | Valor       | t - test | Valor       | t - test |
| $\beta_1$     | 3,15        | 8,13     | 3,98        | 7,85     |
| $\beta_2$     | 2,6         | 7,00     | 3,06        | 6,58     |
| $\beta_3$     | 0           | Fijo     | 0           | Fijo     |
| $\beta_4$     | 0,129       | 0,39     | 0,223       | 0,62     |
| $\Theta_c$    | -0,00086    | -11,46   | -0,00108    | -9,74    |
| $\Theta_{tr}$ | -           | -        | -           | -        |
| $\Theta_{TV}$ | -0,0331     | -2,07    | -0,0317     | -1,81    |
| $\Phi_1$      | -           | -        | 0,594       | 6,00     |
| $\Phi_2$      | -           | -        | 1,00        | 4529,95  |
| $\rho^2$      | 0,385       |          | 0,395       |          |
| $L(\Theta)$   | -338,187    |          | -291,147    |          |
|               | Aceptado    |          | No aceptado |          |

Para el Test y Ranking de los modelos, sólo un modelo cumplió con los parámetros iniciales de signos y de significancia de las variables por lo que no es posible hacer comparación con otros modelos que incluían todas las variables. Por lo tanto el modelo elegido para la política 2 es el MNL4\_PDPARQ.

**3.3 Modelo en Modalidad Predictiva**

Para realizar el análisis de la modalidad predictiva se utiliza la estructura del modelo que presenta mejor resultado. Es así como para cada política se presentará el modelo elegido después del análisis anterior.

*3.3.1 Política 1: Pago por ingreso el día de restricción de ingreso a la Universidad*

En el caso de la política 1 el modelo es el MNL1\_PDCOMUN y para ésta se obtuvo un valor para  $\theta_i = -0.0264$  y para  $\theta_c = -0.000308$ .

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

$$VST = \frac{-0.0264[\$]}{-0.000308[\text{min}]} = \$85.71/\text{min}$$

Esto es equivalente a \$5143/hora. Debe tenerse en cuenta que el modelo se realizó con datos que incluyen la población de docentes, empleados no docentes y estudiantes por lo tanto el nivel de ingresos es variable en cada uno de estos sectores, de manera que este valor es un promedio y es acorde a la realidad, pues está cercano a dos veces el salario mínimo legal vigente en Colombia para el año 2008.

*3.3.2 Política 2: Pago diario por parqueo*

En el caso de la política 2 el modelo es el MNL4\_PDPARQ y para ésta se obtuvo un valor

para  $\theta_i = -0.0331$  y para  $\theta_c = -0.000859$ . Se estima entonces el Valor Subjetivo del Tiempo (VST) utilizando la relación:  $\theta_i/\theta_c$ .

$$VST = \frac{-0.0331[\$]}{-0.000859[\text{min}]} = \$38.5/\text{min}$$

Esto es equivalente a \$2312/hora. El valor obtenido es prácticamente la mitad del valor obtenido en la política 1. Esto podría explicarse porque las personas pueden ser más renuentes a pagar valores todos los días, que un solo día a la semana ya que lo percibirían como más dinero invertido en parqueadero porque es más veces.

### 3.3.3 Cuotas de Mercado de los Modos

Con el modelo estimado que se presenta para cada política, se puede calcular las cuotas de mercado de los modos estudiados, es decir, la

probabilidad de que cada modo analizado sea elegido para realizar los viajes. Estos modos son, Auto, Taxi, Metro/Metroplús y Bus.

Para alimentar el modelo, se han tomado datos promedio de los viajes realizados en auto de los aforos hechos en la U. de A. a los vehículos que entran y salen de la Sede central. Para llevar a cabo el cálculo de dichas cuotas, los costos y tiempos se tomaron de manera general sobre los valores presentados en la encuesta. A estos datos se les aplica el modelo estimado para cada política, para finalmente obtener las cuotas de mercado definitivas. En la Tabla 3 se presentan los resultados arrojados por la modelación para ambas políticas. Con la política 1, se tiene que de los usuarios que hoy no llevan el auto por la restricción, el 21% estaría dispuesto a pagar la tarifa de exoneración para ingresarlo, el 11% usaría el Taxi, 51% usaría el Metro/Metroplús, y el 17% usaría el Bus. [5].

**Tabla 3.** Cuotas de Mercado para los modos de acuerdo al modelo estimado para la política 1 y 2  
**Table 3.** Market share for the modes according to the estimated model for policy 1 and 2

|                  | Variable  | Política 1 |         |          |             |                | Política 2 |         |          |             |                |
|------------------|-----------|------------|---------|----------|-------------|----------------|------------|---------|----------|-------------|----------------|
|                  |           | Valor      | $\beta$ | Utilidad | Probab.     | Viajes diarios | Valor      | $\beta$ | Utilidad | Probab.     | Viajes diarios |
| AUTO             | Costo     | 10.000     | 0,874   | -2,60    | 21%         | 548            | 6.000      | 3,150   | -2,50    | 30%         | 772            |
|                  | Tv        | 15         |         |          |             |                | 15         |         |          |             |                |
|                  | Nº transb | 0          |         |          |             |                | -          |         |          |             |                |
| TAXI             | Costo     | 6.000      | -0,920  | -3,30    | 11%         | 274            | 6.000      | 2,600   | -3,22    | 15%         | 378            |
|                  | Tv        | 20         |         |          |             |                | 20         |         |          |             |                |
|                  | Nº transb | 0          |         |          |             |                | -          |         |          |             |                |
| METRO/<br>METROP | Costo     | 1.600      | 0,000   | -1,74    | 51%         | 1296           | 1.600      | 0,000   | -2,20    | 41%         | 1041           |
|                  | Tv        | 30         |         |          |             |                | 25         |         |          |             |                |
|                  | Nº transb | 1          |         |          |             |                | -          |         |          |             |                |
| BUS              | Costo     | 2.400      | -0,578  | -2,83    | 17%         | 436            | 2.400      | 0,129   | -3,26    | 14%         | 363            |
|                  | Tv        | 40         |         |          |             |                | 40         |         |          |             |                |
|                  | Nº transb | 1          |         |          |             |                | -          |         |          |             |                |
| <b>SUMA</b>      | -         | -          | -       | -        | <b>100%</b> | <b>2554</b>    | -          | -       | -        | <b>100%</b> | <b>2554</b>    |

Cuando se aplica la Política 2, eliminando la restricción existente al ingreso de los vehículos que tienen Pico y Placa con pago de parqueo por horas, se tiene que los usuarios que hoy no pueden ingresar, lo harían en Auto en un 30%, un 15% irían en Taxi, 41% en Metro/Metroplús y 14% en Bus.

Con la política 1, el 21% de los restringidos pagarían una tarifa de 10.000 pesos para que le levanten la restricción (20% de los autos que podrían ir a la U cada día), es decir un 80% de los autos entraría cada día sin problema, y del

20% restringido, solo un 21% pagaría para entrar, es decir, 4,2% del total, de ese modo el número de autos entrando cada día sería de 84,2% del potencial, es decir, la reducción efectiva sería del 15,8%. Con la política 2, en cambio, el 30% del total de vehículos pagaría parqueadero por hora todos los días, quedándose un 70% de autos sin entrar y sus usuarios cambiarían de modo, lo cual es un cambio bastante drástico (70% de reducción), como ya se había advertido en los valores del tiempo que resultaron de las dos políticas.

3.3.4 Elasticidad de Modelos MNL

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  $X_{ikq}$ , está dada por:

$$E_{piq} X_{ikq} = \theta_{ik} X_{ik} (1 - P_{iq}) \quad (3)$$

Para la elasticidad *cruzada* se tiene:

$$E_{Piq} X_{jkq} = -\theta_{jk} X_{jk} P_{jq} \quad (4)$$

Se 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  $q$ . En la tabla 4 se presentan las elasticidades directas y cruzadas para cada política. De esta manera, las **elasticidades directas** tienen signo negativo indicando que ante aumentos de tarifa o tiempos, las probabilidades de elegir los modos se disminuyen. Para la política 1 se tiene que la probabilidad de elegir Auto, puede variar en un

2% al considerar un cambio en la tarifa de \$100 o de un 12% si el cambio en la tarifa es de \$500. Respecto al tiempo de viaje, se tiene que una modificación de 5 minutos en el tiempo de viaje, puede producir variaciones del orden del 10% en la probabilidad de elegir Auto para el ejemplo dado. En el caso del Taxi, estas variaciones serían del 3% en caso de cambiar la tarifa \$100 y hasta del 14% si el cambio es en \$500 y para el tiempo de viaje el cambio es de un 12% si se modifica el tiempo de viaje en 5 minutos. Es decir, que hay mayor sensibilidad a la variación de la tarifa del taxi que la del auto; para el Metro/Metroplús, se estiman las variaciones en un 2% y 8% para los costos con los cambios presentados respectivamente y de un 7% si se da un cambio en el tiempo de viaje de 5 minutos.

Finalmente para el Bus se observan unas variaciones del 3% si hay un cambio en la tarifa de \$100 y de un 13% si el cambio fuera de \$500 y de un 11% para cambios de 5 minutos en el tiempo de viaje. Los transbordos afectan en un 23% si sólo se cambiara en 1 el número de transbordos presentados para el caso del Metro/Metroplús y en un 38% para el Bus, lo que muestra que el usuario de auto es muy reacio a tener que hacer transbordos.

**Tabla 4.** Elasticidades directas y cruzadas por Modo y Atributo del modelo estimado para las política 1 y 2  
**Table 4.** Direct and cross-elasticity by mode and attribute of the estimated model for policies 1 and 2

| POLITICA 1      |               | DIRECTAS  |           |         |        | CRUZADAS      |           |           |         |        |
|-----------------|---------------|-----------|-----------|---------|--------|---------------|-----------|-----------|---------|--------|
| MODO            | PROB. DE MODO | ATRIBUTO  |           |         |        | PROB. DE MODO | ATRIBUTO  |           |         |        |
|                 |               | COSTO     | COSTO     | Tv      | TRANSB |               | COSTO     | COSTO     | Tv      | TRANSB |
|                 |               | -0,000308 | -0,000308 | -0,0264 | -0,457 |               | -0,000308 | -0,000308 | -0,0264 | -0,457 |
|                 |               | 100       | 500       | 5       | 1      |               | 100       | 1000      | 5       | 1      |
| Auto            | 21%           | -2%       | -12%      | -10%    | -36%   | 21%           | 1%        | 7%        | 3%      | 10%    |
| Taxi            | 11%           | -3%       | -14%      | -12%    | -41%   | 11%           | 0%        | 3%        | 1%      | 5%     |
| Metro/Metroplús | 51%           | -2%       | -8%       | -7%     | -23%   | 51%           | 2%        | 16%       | 7%      | 23%    |
| Bus             | 17%           | -3%       | -13%      | -11%    | -38%   | 17%           | 1%        | 5%        | 2%      | 8%     |
| POLITICA 2      |               | DIRECTAS  |           |         |        | CRUZADAS      |           |           |         |        |
| MODO            | PROB. DE MODO | ATRIBUTO  |           |         |        | PROB. DE MODO | ATRIBUTO  |           |         |        |
|                 |               | COSTO     | COSTO     | Tv      | TRANSB |               | COSTO     | COSTO     | Tv      | TRANSB |
|                 |               | -0,00086  | -0,00086  | -0,0331 | -      |               | -0,00086  | -0,00086  | -0,0331 | -      |
|                 |               | 100       | 500       | 5       | -      |               | 100       | 1000      | 5       | -      |
| Auto            | 30%           | -6%       | -30%      | -12%    | -      | 30%           | 3%        | 26%       | 5%      | -      |
| Taxi            | 15%           | -7%       | -37%      | -14%    | -      | 15%           | 1%        | 13%       | 2%      | -      |
| Metro/Metroplús | 41%           | -5%       | -25%      | -10%    | -      | 41%           | 4%        | 35%       | 7%      | -      |
| Bus             | 14%           | -7%       | -37%      | -14%    | -      | 14%           | 1%        | 12%       | 2%      | -      |

Para la Política 2, de acuerdo con los resultados obtenidos, se tiene que las elasticidades directas son mayores que las de la Política 1, lo cual confirma la mayor sensibilidad a un pago continuo de parqueo por horas, respecto a un único pago a la semana. Con la política 2, la probabilidad de elegir Auto, puede variar en un 6% al considerar un cambio en la tarifa de \$100 o de un 30% si el cambio en la tarifa es de \$500. Respecto al tiempo de viaje, se tiene que una modificación de 5 minutos en el tiempo de viaje, puede producir variaciones del orden del 12% en la probabilidad de elegir Auto. En el caso del Taxi, estas variaciones serían del 7% en caso de cambiar la tarifa \$100 y hasta del 37% si el cambio es en \$500 y para el tiempo de viaje el cambio es de un 14% si se modifica el tiempo de viaje en 5 minutos; para el Metro/Metrolplus, las variaciones serían entre un 5% y 25% para los costos con los cambios presentados respectivamente y de un 10% si se da un cambio en el tiempo de viaje de 5 minutos, finalmente para el Bus se observan unas variaciones del 7% si hay un cambio en la tarifa de \$100 y de un 37% si el cambio fuera de \$500 y de un 14% para cambios de 5 minutos en el tiempo de viaje. En el caso de las **elasticidades cruzadas** para la Política 1, se puede observar que la probabilidad de elegir Taxi, Metro o Bus, variarían en un 1%, respecto a un cambio de \$100 en la tarifa del cobro del parqueo en la Universidad el día de restricción de ingreso; variarían en un 7% si el cambio en dicha tarifa fuera de \$1000; si se modificara para este mismo modo el tiempo de viaje en 5 minutos, la probabilidad de elegir los demás modos variaría en un 3% y si se variara en 1 el número de transbordos realizados, por ejemplo en el Metro, la probabilidad de elegir el vehículo, el taxi o el bus cambiarían en un 23%, lo cual muestra de nuevo la sensibilidad a los transbordos. Para la Política 2, se puede afirmar que la probabilidad de elegir Vehículo, Taxi o Bus, variarían en un 4%, respecto a un cambio de \$100 en la tarifa del cobro del parqueo en la Universidad el día de restricción de ingreso en la tarifa del Metro y si se modificara para este modo el tiempo de viaje en 5 minutos, la probabilidad de elegir los demás modos variaría en un 7%. Si en cambio, la tarifa para el auto cambiara en \$1000, la probabilidad de elegir los otros modos variaría en un 26% [5].

#### 4. CONCLUSIONES

Los modelos obtenidos muestran que los usuarios de auto podrían presentar un cambio fuerte en su decisión de usar este modo, por lo que ambas políticas estudiadas ofrecerían altos beneficios para la movilidad dentro del campus, porque descongestionarían, pero además contribuirían a la disminución de los niveles de contaminación y de accidentalidad de la ciudad.

La Política 1, de cobrar una tarifa diaria sólo a los autos restringidos de cada día, permite una reducción menor de autos en la U. de A. cada día (15,8% de reducción diaria), respecto a la Política 2 (70% de reducción diaria). En esta última el recaudo sería mayor, pero es muy importante aclarar que el objeto de la Universidad para aplicar una medida de este tipo no podría ser nunca obtener ganancias, por su carácter propio de Universidad Pública, y por las dinámicas internas de la institución, por lo que podría ser una propuesta que el recaudo por la tarificación apoyara los programas de tiquetes estudiantiles de transporte para los estudiantes de escasos recursos, o la creación de un fondo de becas, cumpliendo de esta manera con un objetivo ambiental, ciudadano y social. La decisión final también dependerá de cuánto espacio desee liberar la universidad para su desarrollo físico, áreas verdes, zonas deportivas, etc., en contraposición con dedicar cada vez más espacio a zonas de parqueo.

Otra propuesta, de acuerdo a los resultados relativos al índice de ocupación encontrado en los autos, y que apuntaría a desestimular el uso del vehículo privado o que ayudaría a un uso racional de éste, es que las personas que llegan en automóvil ingresen a la Universidad acompañados y de esta manera podría aplicarse, por ejemplo, una exención o disminución en el pago de la tarifa, en caso de que alguna de las dos políticas propuestas aquí fuera aplicada.

#### REFERENCIAS

- [1] BILBAO, J. & FERNÁNDEZ, A. The influence of quality and price on the demand for urban transport: the case of university students. *Transportation Research Part A*. 38 pp. 607–614. 2004.

- [2] ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Encuesta Origen Destino Hogares y Estudios Complementarios. Medellín. 2005.
- [3] ORTÚZAR, J. Y WILLUMSEN, L. G. Modeling Transport. 3th Ed., John Wiley & Sons, New York. 2003.
- [4] KOCUR, G., ADLER, T., HYMAN, W. & AUNET B. Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment. Report No UMTA-NH-11-0001-82, Urban Mass Transportation Admin. USDOT, Washington, DC. 1982.
- [5] MORENO, D. El Problema de Movilidad en Campus Universitarios. Caso Aplicado: U. de A. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2008.
- [6] GONZÁLEZ, C., MORENO, D., VELÁSQUEZ, S. Modelación del reparto modal de viajes: Caso U. de A Grupo GIGA – U. de A., 2008.
- [7] BIERLAIRE, M. BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models , *Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference*, Ascona, Switzerland. 2003.