



5 ESTUDIO DE CASO: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

5.1 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Teniendo en cuenta que los campus universitarios son considerados en la actualidad como modelos de microciudades que presentan a su interior los mismos fenómenos que las grandes ciudades (tanto físicos como sociales, políticos, económicos y culturales) pero a menor escala, el tránsito constituye uno de los factores más representativos del funcionamiento del campus como una pequeña ciudad y una buena movilidad incide directamente en el comportamiento de las personas que conforman esta comunidad. Ahora, siendo la Universidad de Antioquia la institución universitaria más importante de la ciudad y de la región y que concentra la mayoría de sus estudiantes (30.000 aproximadamente) en la Ciudad Universitaria, presenta en la actualidad una problemática ligada al tránsito en su interior representada por los muchos momentos del día en que se producen grandes congestionamientos vehiculares en los accesos y la aparente disponibilidad insuficiente de parqueaderos, lo que ha sido producto no sólo del rápido crecimiento del parque automotor en la ciudad, sino de la gran cantidad de motocicletas que ingresan diariamente al campus, constituyéndose este modo de transporte en uno de los más utilizados por toda la comunidad universitaria. Por estas razones, esta tesis tuvo como objetivo la elaboración de un diagnóstico vial de la Universidad de Antioquia en cuanto a su accesibilidad en los diferentes modos de transporte y la congestión en los parqueaderos, diagnóstico que finalmente sirvió de materia prima para la propuesta de soluciones dirigidas a la búsqueda de la descongestión de éstos y mejoramiento de las condiciones de accesibilidad en cuanto al modo utilizado. (González y Moreno 2008)

En la Universidad de Antioquia se ve el reflejo de la situación vehicular de la ciudad planteada anteriormente, que aunque tenga un predominio de 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 en calidad de sede central, 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 (EOD, 2005), 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 1500 de postgrado, 4.500 profesores (entre profesores de planta y de cátedra), 1.500 trabajadores y 1.500 visitantes, todos ellos realizando una gran cantidad de viajes diarios hacia y desde el campus universitario.

La infraestructura vial vehicular tiene en cuenta la vía interna de circulación (circunvalar) la cual está compuesta por una sola calzada cuyo ancho (4m sin incluir parqueaderos) permite la circulación vehicular en un solo sentido y a la vez su lateral externo es usado para el estacionamiento de automóviles; las zonas de parqueaderos de automóviles comprenden el espacio de la circunvalar destinado para tal fin y los parqueaderos conformados por patios, para una capacidad total de 941 parqueaderos vehiculares al interior del campus; para el estacionamiento de las motocicletas existen algunos espacios sobre la circunvalar y algunas áreas definidas para tal fin; para las bicicletas no hay zona de parqueo especial, estando éstas, por lo general, ubicadas junto a los árboles que se encuentran en zonas verdes que deberían estar destinadas para fines netamente peatonales, de descanso o paisajísticos; por último se tienen los accesos vehiculares (1 de salida y 2 de entrada - salida). En cuanto a la infraestructura vial peatonal se tuvieron en cuenta la cantidad de accesos, su ubicación y el flujo de peatones en cada uno de ellos. Toda esta información permitió realizar un estudio de disponibilidad de parqueaderos, vías de acceso y vías de comunicación, teniendo en cuenta el reparto modal de viajes.

En la actualidad la población de la ciudad universitaria es atendida por varias rutas urbanas que circulan por las inmediaciones de la Universidad de Antioquia. Además, cuenta con varias rutas metropolitanas que igualmente circulan cerca de la Universidad, comunicando a Medellín con los municipios del norte y sur del Valle de Aburrá. El servicio de transporte masivo del Metro presenta una ventaja grande para los visitantes y usuarios de la Universidad por las características del servicio y la integración con rutas complementarias en diferentes estaciones del sistema, esas ventajas han permitido que la movilidad de pasajeros del Metro crezca cada año. La estación Universidad moviliza un 3% de la afluencia de todo el sistema Metro en un día laboral normal. El sistema Metro movilizó en un día laboral promedio del año 2007, 450.000 pasajeros, de los cuales 13.700 ingresaron o salieron del Metro por la estación Universidad. (PMM, 2007).



5.2 MOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Aforos vehiculares en la Ciudad Universitaria y encuestas a peatones y a conductores

Se obtuvo una muestra de peatones del 5% y del 43% de los vehículos que entraban y salían de la universidad, muestra que se considera confiable y de buena representatividad. Se realizaron aforos vehiculares representativos en los accesos al campus universitario un día típico de semana, el día Jueves 03 de abril de 2008, entre las 6:00 y las 20:00 horas, con el fin de obtener el patrón del comportamiento vehicular en las horas de mayor demanda del día (ver figura 9). En un día regular de semana ingresan al campus universitario aproximadamente 4200 vehículos (entre las 6:00 y las 20:00 horas) teniendo en cuenta tanto automóviles (2554) como motocicletas (1593). La hora pico de ingreso ocurre entre las 7:30 y las 8:30 con 624 vehículos y la hora pico de salida ocurre entre las 17:30 y las 18:30 con 564 vehículos.

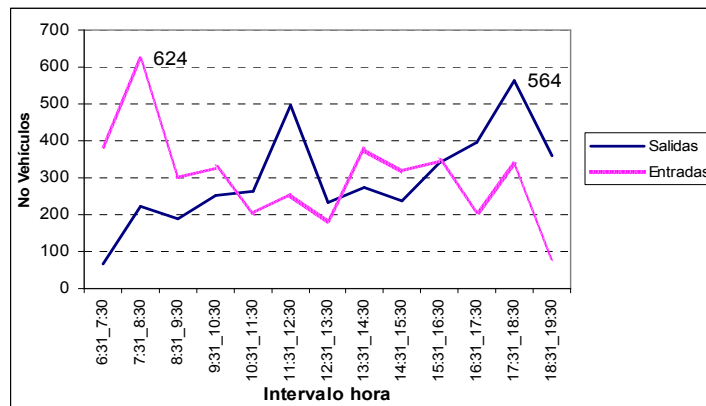


Figura 9. Flujo de entradas y salidas vehículos

Se recogieron los datos necesarios para determinar el tiempo de permanencia de los vehículos al interior del campus, a través de la captación de los números de placas y su hora tanto de ingreso como de salida. Con esta información sumada a una encuesta PR realizada a los conductores de los vehículos salientes sobre el lugar de parqueo dentro de la Universidad, se pudo determinar, no sólo el estado de congestión de la ciudadela sino además, los puntos más críticos así como los lugares menos apetecidos por los conductores para el parqueo, y por lo tanto los que por periodos más largos permanecen disponibles.

Al observar los resultados sobre la utilización de parqueaderos para automóviles se encontró un máximo de ocupación de los mismos a las 10:30 a.m. correspondiente a 837 parqueaderos ocupados, es decir, una ocupación del 89% de los espacios disponibles en el campus. Durante las horas de la tarde se encontró una ocupación máxima del 73% para un total de 689 automóviles a las 4:00 p.m., esto indica que la franja de la mañana es la más congestionada lo



que exige una atención especial dentro de las recomendaciones y conclusiones (ver figura 10). El tiempo promedio de parqueo es de 3.2 horas.

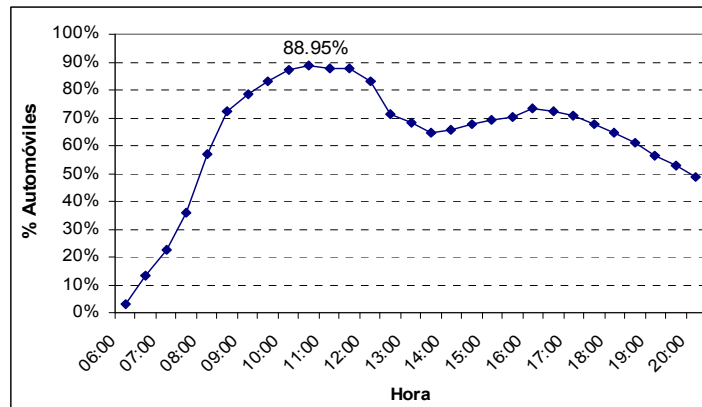


Figura 10. Porcentaje de ocupación de los parqueaderos de automóviles en la Ciudad Universitaria

Se encontró un total de parqueaderos disponibles de 103 celdas a la hora de mayor congestión, éstas se encontraban principalmente en la zona nor-occidental, donde habían disponibles 75 celdas a esa hora, lo cual se explica dada la distribución espacial de la sede universitaria, pues en ese sector se encuentran ubicadas las zonas deportivas y está en uno de sus extremos, que se ubica relativamente distante de la infraestructura administrativa y académica mostrando el desinterés de los usuarios por desplazarse a pie un tiempo estimado de 5 a 10 minutos, esto permite observar que si se hiciera un adecuado uso de esos espacios podría mejorar notablemente la circulación y casi abolir la mala costumbre de parquear en sitios prohibidos. (Ver Plano al final de este trabajo).

Hay que tener en cuenta que sólo ingresan al campus universitario el 80% de los vehículos ya que desde febrero de 2007 se implementó en la Universidad el pico y placa (restricción vehicular que no permite circular automóviles con cierto número de placa en un lugar establecido) durante las 24 horas del día. Por lo tanto al respecto sería posible establecer acuerdos con los docentes y empleados, de una utilización más equitativa de los espacios disponibles para parquear los automóviles y según los resultados obtenidos podría eliminarse la restricción de pico y placa tal como se tiene planteada para las 24 horas y podría disminuirse sólo para las horas en las que existe en la ciudad (6:30am - 8:30am y 5:30pm - 7:30pm) o bien plantearse una solución que cubra las horas de mayor congestión de parqueaderos que, como se vio en la figura 12, es en la franja de la mañana. A los conductores y peatones se les preguntó adicionalmente a la entrada por el motivo de la visita (ver tabla 1), el cual podía ser estudiante pregrado, estudiante postgrado, docente tiempo completo, docente de cátedra, empleado o visitante.



Tabla 1. Condición de las personas sobre el total de los encuestados

CONDICIÓN DE LAS PERSONAS			
Estudiante Pregrado	48.48%	Empleado	17.09%
Estudiante Posgrado	2.76%	Visitante	14.61%
Docente de Planta	9.81%	Docente Cátedra	7.09%

La mayoría de los usuarios de vehículos particulares son los docentes y empleados que suman un total de 48.19% de los vehículos registrados. (Ver tabla 2 y figura 11).

Tabla 2. Condición de las personas sobre los conductores encuestados

CONDICIÓN DE LAS PERSONAS			
Estudiante Pregrado	28.65%	Empleado	21.47%
Estudiante Posgrado	3.55%	Visitante	19.62%
Docente de Planta	16.21%	Docente Cátedra	10.51%

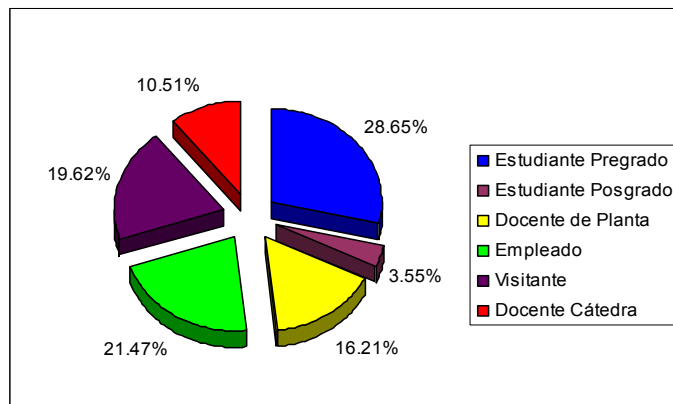


Figura 11. Condición de las personas sobre los conductores encuestados

Se tomó nota del nivel de ocupación de los vehículos tanto a la entrada como a la salida de éstos y se encontraron valores de ocupación bastante bajos (ver tabla 3).



Tabla 3. Nivel de ocupación de los automóviles de la Ciudad Universitaria

NIVEL DE OCUPACIÓN Personas /Auto	
Automóviles Entrada	1.31
Automóviles Salida	1.35

Además de las encuestas vehiculares, se realizaron encuestas también a los peatones que ingresaban por las porterías tanto a la entrada como a la salida, a éstos se les preguntó sobre el modo que utilizaron para llegar hasta la Universidad (Bus, Metro, taxi, lo traen en vehículo particular, en bicicleta, a pie, etc.), los cuales se pueden ver en la figura 12. Se encontró que más de la tercera parte de la población utiliza el modo bus.

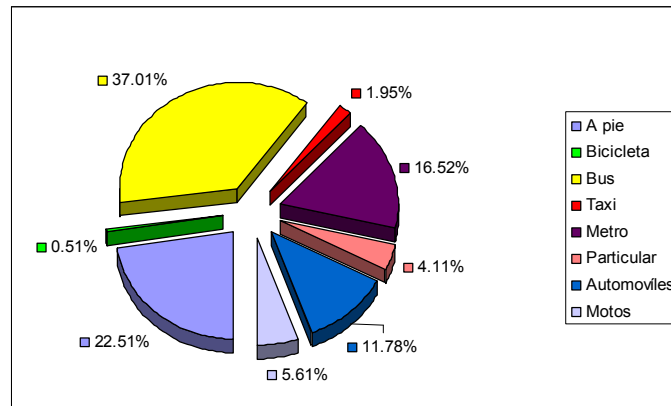


Figura 12. Reparto modal U. de A.

Se encontró que las personas ingresan al Campus, con una distribución que se muestra en la figura 12, en servicio público colectivo (bus y Metro) es del 53.5%, servicio público individual (Taxi) 1.95%, en modos no motorizados (a pie, bicicleta) aproximadamente 23.02% y se observa una marcada tendencia al uso del vehículo privado 11.78%, y con un porcentaje muy representativo de motocicletas, casi la mitad de estos usuarios de vehículo privado (24% del total de vehículos que ingresaron). En las encuestas realizadas se preguntó por el origen y destino de los viajes hacia y desde la Universidad de Antioquia. Esto se hizo para las 16 comunas del Valle de Aburrá y zonas cercanas. Los orígenes y destinos de los viajes se muestran en la tabla 4.



Tabla 4. Total Origen - Destino.

COMUNA	TOTAL ORIGEN	% ORIGEN	TOTAL DESTINO	% DESTINO
1. Popular	9	0.31%	8	0.23%
2. Santacruz	19	0.65%	32	0.91%
3. Manrique	101	3.47%	80	2.28%
4. Aranjuez	273	9.38%	380	10.81%
5. Castilla	105	3.61%	113	3.21%
6. 12 de Octubre	21	0.72%	12	0.34%
7. Robledo	213	7.32%	240	6.83%
8. Villa Hermosa	33	1.13%	30	0.85%
9. Buenos Aires	119	4.09%	88	2.50%
10. Candelaria	328	11.28%	593	16.87%
11. Laureles Estadio	296	10.18%	479	13.63%
12. América	142	4.88%	156	4.44%
13. San Javier	29	1.00%	39	1.11%
14. Poblado	189	6.50%	282	8.02%
15. Guayabal	63	2.17%	74	2.11%
16. Belén	243	8.35%	225	6.40%
San Cristobal	9	0.31%	8	0.23%
San Antonio de Prado	16	0.55%	11	0.31%
Envigado	267	9.18%	244	6.94%
Bello	139	4.78%	153	4.35%
Itagüi	96	3.30%	94	2.67%
Sabaneta/Estrella/Caldas	107	3.68%	94	2.67%
Copacabana/Girardota	45	1.48%	41	1.17%
Oriente	26	0.89%	22	0.63%
Otros	21	0.72%	17	0.48%
TOTAL	2909	100%	3515	100%

Se puede observar que la zona que más viajes atrae y produce (15% aproximadamente) es la comuna 10 La Candelaria, que es una zona del centro de la ciudad, la cual incluye otras dependencias de la Universidad y la mayoría de estos viajes son realizados a pie. También se



encontró que la mayor cantidad de viajes en automóvil se originan y van hacia el sur de la ciudad, ya que es una de las zonas con mayor cantidad de vehículos por tratarse de estratos socioeconómicos altos, como lo es la comuna El Poblado.

Parqueaderos existentes en la Ciudad Universitaria

En el caso de las celdas para automóviles es fácilmente cuantificable la oferta de espacios, lo que no es posible para las motocicletas debido a que no conservan un patrón de estacionamiento y se acomodan en forma variable, por ello la oferta se levantó en número de celdas de autos y en zonas para motocicletas, pues su capacidad en número de motos es variable. El espacio disponible para parqueaderos se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Espacio disponible para parqueaderos.

Parqueadero Automóviles	941
Espacio para motocicletas	720 ml

A partir de los datos de la tabla 5, y teniendo en cuenta que una motocicleta puede ocupar aproximadamente 1ml, se puede calcular una capacidad para alrededor de 720 motocicletas. Este valor se ve claramente excedido en las horas de la tarde de manera creciente, alcanzando un máximo de 812 motocicletas a las 6:30 p.m. (ver figura 13), lo que da cuenta del uso inadecuado de los parqueaderos y en especial los de este tipo de vehículo, dado que en la mayoría de los casos estacionan en doble fila y otros más estacionan en lugares distintos a los destinados, como senderos peatonales o zonas verdes, lo que disminuye el nivel de espacio para la movilidad de peatones y aumenta el riesgo de accidentalidad.

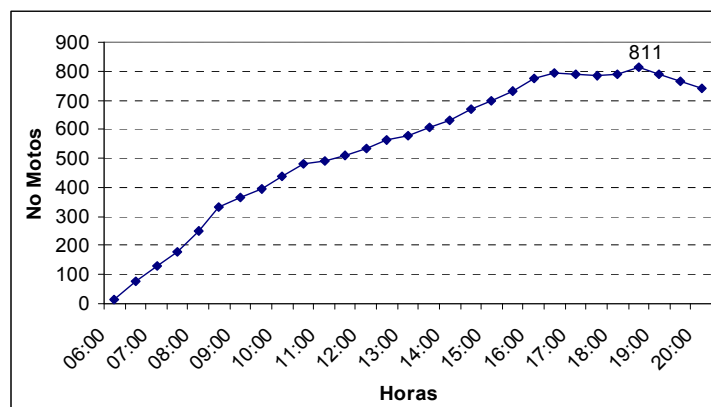


Figura 13. Cantidad de motocicletas parqueadas en ciudad universitaria.



5.3 MODELACIÓN DEL REPARTO MODAL EN LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

5.3.1 Modelación con encuestas PD

En el capítulo 4 se muestra la metodología utilizada para llevar a cabo las encuestas de Preferencias Declaradas. Esta información permite recoger el comportamiento del grupo de usuarios útiles para este estudio. Estas encuestas fueron aplicadas por estudiantes del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Antioquia que están siguiendo la línea de profundización de Vías y Transporte. A ellos se les ofreció una capacitación en las que se les explicó el objetivo de este tipo de encuestas, la información que ellas se puede obtener y la forma en que deben presentar la encuesta para poder obtener la mayor precisión posible por parte de los encuestados.

Se realizaron dos tipos de preguntas, como ya se dijo, la primera apuntando a un estudio de la disposición de pago de los usuarios con vehículo en caso de disminuir la restricción del Pico y Placa que se aplica en la Universidad y que estaría mejor denominado Día y Placa, ya que la restricción es durante todo el día, al proponer un pago alto por ingresar el vehículo el día que le corresponde la prohibición, esto comparado contra otras alternativas de transporte como el Taxi, El Metro/ Metroplús (el Metroplús se tuvo en cuenta como una alternativa de transporte masivo, una vez esté en funcionamiento) y el Bus. La segunda preguntaba por la disponibilidad de pago de un parqueadero diario a cambio de eliminar la restricción existente actualmente, y de la misma manera que en la primera política, se enfrentaba contra los otros modos. En ambos casos se preguntó por la disponibilidad que tenía de los modos Metro/Metroplus y Bus, debido a que estas posibilidades son particulares de cada comuna estudiada y de cada persona, de manera que quienes no tienen cercana las rutas del Metro o Metroplús no tiene sentido preguntar por esos modos y la disponibilidad se tomaba como cero, lo mismo ocurre con el Bus, ya que desde todas partes no es posible conseguir una ruta que llegue a la universidad o en algunos casos, por ser tan largo y/o incomodo el trayecto el usuario nunca lo tomaría o incluso nunca lo ha usado.

Los datos obtenidos fueron modelados en el Software BIOGEME de uso libre. Se tenían 3 variables: Costo, Tiempo de viaje y Número de transbordos. Además se contaba con cuatro modos. En el trabajo se denominan como se presenta a continuación en las tablas 6 y 7:



Tabla 6. Definición de las variables.

	MODO	Costo	Tiempo de Viaje	Nº de trasbordos
1	Vehículo	C1	Tv1	Trasb1
2	Taxi	C2	Tv2	Trasb2
3	Metro/MetroPlús: MMP	C3	Tv3	Trasb3
4	Bus	C4	Tv4	Trasb4

Tabla 7. Definición de los valores de las variables.

VARIABLES ADICIONALES Y CODIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS		
Variable	Alternativa	Valor
Sexo	Femenino	1
	Masculino	0
Docente TC	Si	1
	No	0
Docente cátedra	Si	1
	No	0
Empleado no docente	Si	1
	No	0
Estudiante Pregrado	Si	1
	No	0
Estudiante Posgrado	Si	1
	No	0
CHOICE	Alternativa Elegida	
ID	Identificación del individuo	

Con las variables anteriores se puede entonces definir la Función de Utilidad como sigue:

$$U_{VEHI} = \beta_1 + \theta_c C_1 + \theta_{Tv} Tv_1 + \theta_{tr} Transb_1$$

$$U_{TAXI} = \beta_2 + \theta_c C_2 + \theta_{Tv} Tv_2 + \theta_{tr} Transb_2$$

$$U_{MMP} = \beta_3 + \theta_c C_3 + \theta_{Tv} Tv_3 + \theta_{tr} Transb_3$$

$$U_{BUS} = \beta_4 + \theta_c C_4 + \theta_{Tv} Tv_4 + \theta_{tr} Transb_4$$

Donde:

β : Constantes específicas de cada alternativa

θ : Coeficientes de cada variable



Los signos esperados para las variables a incluir en el modelo, dentro de la función de Utilidad, se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Signos esperados para las variables de las funciones de Utilidad

Variable		Signo
Costo	Ci	-
Tiempo de Viaje	Tvi	-
Nº de trasbordos	Trasb i	-

La muestra obtenida y las respuestas que se recopilaron en las encuestas relacionadas con la política que buscaba evaluar la disponibilidad de pago por ingresar el vehículo el día que tiene restricción en la Universidad, se resumen a continuación en las tablas 11, 12 y 13. En las Tablas 11 y 12 se muestra la distribución de la muestra y en la tabla 13 se presentan los porcentajes de las respuestas de manera general.

Tabla 11. Descripción de la muestra obtenida encuesta PD Pico y Placa

Descripción	%
Hombres	70
Mujeres	30

Tabla 12. Descripción de la muestra obtenida encuesta PD Pico y Placa

Descripción	%
Profesores	25
Empleados no docentes	34
Estudiantes progrado	33
Estudiantes pregrado	8

Tabla 13. Resumen encuesta PD Pico y Placa

Choice	%
Vehículo	36
Taxi	10
M/MP	40,5
Bus	13,5

Los resultados mostrados en la tabla 13 se pueden presentar discriminados por género, así que en las tablas 14 y 15 se muestra cómo la mayoría, tanto de los hombres como de mujeres, eligen el vehículo como modo de transporte para la encuesta dirigida al cobro de tarifa de parqueo el día de Pico y Placa, el segundo modo elegido para ambos sexos es el



Metro/Metroplús, sin embargo hay una diferencia marcada entre la elección de hombres y mujeres, porque el 46% de los hombres eligen éste modo, mientras que sólo el 29% de las mujeres toman la misma decisión. De otro lado a pesar de que el taxi es la tercera alternativa más elegida por ambos sexos, ésta elección es mucho más popular entre las mujeres de las cuales un 15% lo eligieron, mientras que el 8% de los hombres opta por este modo, el mayor porcentaje de mujeres que prefieren usar taxi respecto al porcentaje de hombres se puede deber a razones de seguridad en las caminatas y a la comodidad de las mismas y durante la permanencia en el modo. En último lugar está el bus, ésta tendencia se puede deber a los tiempos mucho más largos de éste modo y también por la falta de comodidad comparado con los otros modos.

Tabla 14. Elecciones de PD Pico y Placa entre las mujeres

Alternativa	%
Vehículo	35
Taxi	8
M/MP	46
Bus	11

Tabla 15. Elecciones de PD Pico y Placa entre los hombres

Alternativa	%
Vehículo	39
Taxi	15
M/MP	29
Bus	17

Para la muestra obtenida y las respuestas que se recopilaron en las encuestas relacionadas con la política de cobro diario de parqueadero pero que aboliera la restricción de ingreso uno de los días que hay Pico y Placa en la Ciudad, se presentan las tablas 16, 17 y 18. En las Tablas 16 y 17 se muestra la distribución de la muestra y en la tabla 18 se presentan los porcentajes de las respuestas de manera general.

Tabla 16. Descripción de la muestra obtenida encuesta PD Parqueadero

Descripción	%
Hombres	65
Mujeres	35



Tabla 17. Descripción de la muestra obtenida encuesta PD Parquedero

Descripción	%
Profesores	29
Empleados no docentes	33,5
Estudiantes progrado	35,5
Estudiantes pregrado	2

Tabla 18. Resumen encuesta PD Parquedero

Choice	%
Vehículo	41
Taxi	10
M/MP	41
Bus	8

En las tablas 19 y 20 se muestran las elecciones de acuerdo a las elecciones tomadas por cada género en el caso de la política referente al cobro de tarifa de parquedero diario. A diferencia de la política referente al cobro de tarifa el día de Pico y Placa, en este caso las mujeres parecen inclinarse más por la alternativa de M/MP y en un segundo lugar tienen la elección por el vehículo, mientras que los hombres eligieron en primer lugar el vehículo y en segundo el M/MP, de cualquier manera estos dos modos siguen siendo los más elegidos. Para las mujeres el tercer lugar es ocupado por el taxi, que representa una mayor comodidad y rapidez que el Bus que sigue siendo la última opción, mostrando una menor confianza por parte de éstas en ese modo. En el caso de los hombres las respuestas obtenidas muestran un resultado opuesto, pues para los hombres está en último lugar el modo de taxi.

Tabla 19. Elecciones de PD Parquedero entre las mujeres

Alternativa	%
Vehículo	37
Taxi	12
M/MP	46
Bus	5

Tabla 20. Elecciones de PD Parquedero entre los hombres

Alternativa	%
Vehículo	49
Taxi	6
M/MP	31
Bus	14



Se muestran a continuación los modelos realizados con los datos PD para ambas políticas, tanto la del Pico y Placa como la del Parqueadero. 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 presentan mejores resultados y que se resumen a continuación.

5.3.2 Modelos MNL y HL con datos PD

Esta información se modeló como un Logit Multinomial (MNL) y también con un modelo Logit Jerárquico (HL), los cuales se trabajaron para ambas políticas. 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 y el otro para transporte privado compuesto por la alternativa de Taxi y automóvil.

5.3.2.1 Política 1: Pago por ingreso y parqueo el día de restricción de ingreso a la Universidad

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 a la Universidad. Los primeros modelos presentados, para cada tipo de modelación, (MNL1_PDCOMUN y HL1_PDCOMUN) tienen en cuenta todas las alternativas y variables (ver Tabla 21), en los segundos (MNL2_PDCOMUN y HL2_PDCOMUN) se modeló eliminando la variable del Tránsito (ver Tabla 22). 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 un poco más del 55% (ver Tabla 23). En el cuarto caso, a diferencia de los anteriores, sólo se modeló utilizando Logit multinomial (MNL4_PDCOMUN), donde 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 (ver Tabla 24).



Tabla 21. Modelos MNL1 y HL1 con datos PD para Pico y Placa

Parámetro	MNL1_PDCOMUN		HL1_PDCOMUN	
	Valor	t - test	Valor	t - test
β_1	0,874	3,73	0,874	3,73
β_2	-0,920	-4,35	-0,920	-4,35
β_3	0	Fijo	0	Fijo
β_4	-0,578	-2,77	-0,578	-2,77
Θ_c	-0,000308	-14,55	-0,000308	-14,55
Θ_{tr}	-0,457	-3,05	-0,457	-3,05
Θ_{TV}	-0,0264	-2,51	-0,0264	-2,51
Φ_1	-	-	1.0	0.00
Φ_2	-	-	1.0	0.00
ρ^2	0,333		0,333	
$L(\Theta)$	-661.515		-661.515	
	Aceptado		No Aceptado	

En los modelos obtenidos y mostrados en la Tabla 21, las variables presentan signos acordes y valores del test t significativos ($t\text{-test} \geq |1.96|$). Se puede observar que, en ambos tipos de modelos, los coeficientes y las variables dieron el mismo valor y adicionalmente para el modelo HL1_PDCOMUN el valor obtenido de φ es 1.0, por lo tanto podría concluirse que el modelo Logit Jerárquico colapsa al MNL1_PDCOMUN.

Se muestran a continuación (tabla 22) los modelos realizados eliminando la variable Tránsito.

Tabla 22. Modelos MNL2 y HL2 con datos PD para Pico y Placa

Parámetro	MNL2_PDCOMUN		HL2_PDCOMUN	
	Valor	t - test	Valor	t - test
β_1	1,17	5,39	1,17	5,39
β_2	-0,565	-3,17	-0,565	-3,17
β_3	0	Fijo	0	Fijo
β_4	-0,572	-2,72	-0,572	-2,72
Θ_c	-0,000294	-14,4	-0,000294	-14,4
Θ_{tr}	-	-	-	-
Θ_{TV}	-0,0215	-2,07	-0,0215	-2,07
Φ_1	-	-	1.0	472.10
Φ_2	-	-	1.0	367849.18
ρ^2	0,328		0,328	
$L(\Theta)$	-666.266		-666.266	
	Aceptado		No Aceptado	



En los modelos obtenidos y mostrados en la Tabla 22, las variables presentan signos acordes y valores del test t significativos ($t\text{-test} \geq |1.96|$). Además del mismo modo que en el caso anterior, se observa que en ambos tipos de modelos, los coeficientes y las variables dieron el mismo valor y adicionalmente para el modelo HL2_PDCOMUN el valor obtenido de los φ es 1.0, con estos resultados podría concluirse que el HL2_PDCOMUN colapsa al MNL2_PDCOMUN.

Para los modelos presentados en la Tabla 23, a la muestra trabajada inicialmente se le eliminaron los datos de los usuarios cautivos, es decir, aquellos que siempre eligieron el mismo modo en todas las alternativas presentadas.

Tabla 23. Modelos MNL3 y HL3 con datos PD para Pico y Placa

Parámetro	MNL3_PDCOMUN		HL3_PDCOMUN	
	Valor	t - test	Valor	t - test
β_1	3,27	8,47	3,27	8,47
β_2	1,11	3,43	1,11	3,43
β_3	0	Fijo	0	Fijo
β_4	-0,528	-1,79	-0,528	-1,79
Θ_c	-0,000552	-13,86	-0,000552	-13,86
Θ_{tr}	-0,349	-1,58	-0,349	-1,58
Θ_{TV}	-0,0158	-1,06	-0,0158	-1,06
Φ_1	-	-	1.0	0.00
Φ_2	-	-	1.0	114.53
ρ^2	0,438		0,438	
$L(\Theta)$	-336.930		-336.930	
	No aceptado		No aceptado	

En los modelos obtenidos y mostrados en la Tabla 23, se observa que tanto para el MNL3_PDCOMUN como el HL3_PDCOMUN se obtuvieron los mismos valores en las variables y en los coeficientes de los parámetros. Las variables presentan signos acordes pero el valor del test-t es significativo ($t\text{-test} \geq |1.96|$) sólo para la variable Costo, pues para el Tránsito y el Tiempo de viaje no fue así. Por otro lado el valor obtenido para los φ es de 1.0 en el modelo HL, por lo que éste colapsa al MNL, pero teniendo en cuenta los valores del t test de las variables de este último, tampoco es aceptado.

Para la política relacionada con el Pico y Placa se hizo un último modelo Logit Multinomial con la misma muestra de los modelos presentados en la tabla 23, pero además en este caso se eliminó la variable de tránsito, los resultados se muestran en la tabla 24.



Tabla 24. Modelos MNL4 con datos PD para Pico y Placa

Parámetro	MNL4_PDCOMUN	
	Valor	t - test
β_1	3,56	10,19
β_2	1,44	5,63
β_3	0	Fijo
β_4	-0,519	-1,74
Θ_c	-0,000544	-13,8
Θ_{tr}	-	-
Θ_{TV}	-0,0101	-0,7
ρ^2	0,436	
$L(\Theta)$	-338.187	
	No aceptado	

Los signos de las variables son acordes pero el valor del test-t es significativo ($t\text{-test} \geq |1,96|$) sólo para la variable Costo, pues para el Tiempo de viaje no fue así, por lo tanto este modelo no es aceptado.

Test y ranking de los modelos

En las comparaciones entre los modelos que se describieron anteriormente para la política 1, se hizo un primer escalonamiento al observar los signos de las variables, los valores de los t-test y los valores de Φ . Con esta primera comparación se aceptaron algunos modelos y se rechazaron otros. Se presenta a continuación un resumen de los modelos MNL no aceptados (tabla25); los modelos HL no aceptados no se presentaran en el ranking, debido a que por los valores de Φ colapsaron a MNL.

Tabla 25. Resumen Modelos no aceptados para política de Pico y Placa

Modelo	Signos	Significancia ($ t \geq 1,96$)	ρ^2	$L(\Theta)$
MNL3_PDCOMUN	Si	No	0,438	-336.930
MNL4_PDCOMUN	Si	No	0,436	-338.187

Se tiene entonces $MNL4_PDCOMUN < MNL3_PDCOMUN$ ya que el t - test del MNL4_PDCOMUN es menos significativo que el otro.

En la tabla 26 se presentan los modelos aceptados con todas sus variables y valores de los test.



Tabla 26. Modelos aceptados para política de Pico y Placa

Parámetro	MNL1_PDCOMUN		MNL2_PDCOMUN	
	Valor	t - test	Valor	t - test
β_1	0,874	3,73	1,17	5,39
β_2	-0,92	-4,35	-0,565	-3,17
β_3	0	Fijo	0	Fijo
β_4	-0,578	-2,77	-0,572	-2,72
Θ_c	-0,000308	-14,55	-0,000294	-14,4
Θ_{tr}	-0,457	-3,05	-	-
Θ_{TV}	-0,0264	-2,51	-0,0215	-2,07
ρ^2	0,333		0,328	
$L(\Theta)$	-661.515		-666,266	

A partir de los modelos anteriores se presenta la tabla con el ranking de los modelos aceptados (tabla 27). La metodología aplicada para realizar este ranking fue estudiar 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 desde el punto de vista de explicar la utilidad asociada al viaje fueran significativas al 95% (test-t), (estas dos revisiones ya fueron hechas en la comparación inicial); y finalmente se miraron los resultados de los test rho-cuadrado (ρ^2) y el valor $L(\Theta)$, suponiendo como mejores aquellos que en ambos casos reporten valores más altos (para $L(\Theta)$ cercanos a cero).

Tabla 27. Ranking de los Modelos aceptados para política de Pico y Placa

Ranking	Modelo	Signos	Significancia ($ t \geq 1,96$)	ρ^2	$L(\Theta)$
1	MNL1_PDCOMUN	Si	Si	0,333	-661.515
2	MNL2_PDCOMUN	Si	Si	0,328	-666,266

Al observar la tabla 27 se observa que ambos modelos cumplen con los signos y con las variables significativas además ambos presentan valores de ρ^2 y $L(\Theta)$ similares aunque no iguales. Se revisa cuál de los dos modelos presenta una significancia más alta de las variables y elige el modelo MNL1_PDCOMUN (Tabla 25), de otro lado aunque la diferencia sea poca los valores tanto de ρ^2 como de $L(\Theta)$ son mejores (más altos) para este mismo modelo. Por lo tanto el mejor modelo es el MNL1_PDCOMUN.

Teniendo en cuenta el análisis anterior, el ranking de los modelos es el siguiente:

$$MNL4_PDCOMUN < MNL3_PDCOMUN < MNL2_PDCOMUN < MNL1_PDCOMUN$$



5.3.2.2 Política 2: Pago diario por parqueo

Para los modelos presentados a continuación se tomó el conjunto de todos los datos de la encuesta aplicada para el cobro del parqueo diario que eliminaría el día de restricción de ingreso a la Universidad. Los primeros modelos presentados, para cada tipo de modelación, (MNL1_PDPARQ y HL1_PDPARQ) tienen en cuenta todas las alternativas y variables, en los segundos (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%, estos resultados pueden observarse en la tabla 28. En el cuarto caso de esta política (MNL4_PDCOMUN y HL4_PDPARQ) se trabajó con la misma muestra de los modelos del tercer caso, y en éste además se eliminó la variable Tránsito para ver el comportamiento de las demás variables (ver Tabla 29).

Tabla 28. Modelos MNL1, MNL2, MNL3 y HL1, HL2, HL3 con datos PD para Parqueo

Parámetro	MNL1_PDPARQ		HL1_PDPARQ		MNL2_PDPARQ		HL2_PDPARQ		MNL3_PDPARQ		HL3_PDPARQ	
	Valor	t - test	Valor	t - test	Valor	t - test	Valor	t - test	Valor	t - test	Valor	t - test
β_1	2,46	2,23	1,6	5,26	2,82	2,89	1,8	6,1	3,19	7,48	3,99	7,44
β_2	1,14	1,1	-0,377	-0,81	1,51	1,66	-0,114	-0,25	2,65	6,26	3,07	5,95
β_3	0	Fijo	0	Fijo	0	Fijo	0	Fijo	0	Fijo	0	Fijo
β_4	0,973	1,25	-1,18	-4,94	0,986	1,25	-1,16	-4,82	0,135	0,41	0,224	0,62
Θ_e	-0,00059	-3,57	-0,00065	-10,34	-0,00057	-3,56	-0,00063	-10,1	-857	-11,35	-0,00108	-9,67
Θ_{tr}	-0,413	-0,67	-0,32	-2,19	-	-	-	-	0,0514	0,22	0,0104	0,04
Θ_{TV}	-0,0468	-1,03	0,00614	0,52	-0,0394	-0,89	0,00836	0,71	-0,0328	2,04	-0,0316	-1,8
Φ_1	-	-	0,438	5,65	-	-	0,440	5,49	-	-	0,594	5,99
Φ_2	-	-	1,00	4,63	-	-	1,00	4,46	-	-	1,00	0,00
ρ^z	0,313		0,283		0,31		0,281		0,385		0,395	
$L(\Theta)$	-53.561		-714.048		-53.788		-716.491		-295.965		-291.146	
	No aceptado		No aceptado		No aceptado		No aceptado		No aceptado		No aceptado	

En los resultados mostrados en la Tabla 28, se muestran los valores de las variables y de los test. A diferencia de los modelos Logit Jerárquicos de la política 1, en este caso se obtuvieron valores de Φ distintos a 1 por lo tanto no se puede decir que los modelos HL colapsan a los MNL, sin antes realizar la prueba LR, sin embargo debido a que todos los modelos de la tabla 28, incluyendo los HL, tienen problemas o bien de la consistencia de los signos o que algunas de las variables no son significativas en sus valores del t-test ($t\text{-test} \geq |1.96|$) y a que éstos son criterios que de manera inmediata descartan el modelo, ninguno de los modelos presentados en esta tabla es aceptado.



En la tabla 29 se muestran los modelos calculados sin la variable Traspaso y con la base de datos reducida, al eliminar los usuarios cautivos.

Tabla 29. Modelos MNL4 y HL4 con datos PD para Parqueo

Parámetro	MNL4_PDPARQ		HL4_PDPARQ	
	Valor	t - test	Valor	t - test
β_1	3,15	8,13	3,98	7,85
β_2	2,6	7	3,06	6,58
β_3	0	Fijo	0	Fijo
β_4	0,129	0,39	0,223	0,62
Θ_c	-0,00086	-11,46	-0,00108	-9,74
Θ_r	-	-	-	-
Θ_{TV}	-0,0331	-2,07	-0,0317	-1,81
Φ_1	-	-	0,594	6,00
Φ_2	-	-	1,00	4529,95
ρ^2	0,385		0,395	
L(Θ)	-338,187		-291,147	
	Aceptado		No aceptado	

De los modelos presentados en la tabla anterior se observa que el HL4_PDPARQ tiene el valor de Φ_1 distinto de 1.0, pero no es aceptado debido a que los valores del t-test no son significativos para las dos variables estudiadas. Los signos en ambos modelos son consistentes y las variables del modelo MNL4_PDPARQ son significativas. Por lo tanto para la política 2, el modelo aceptado es el MNL4_PDPARQ.

Test y ranking de los modelos política 2

Debido a que para esta política, solo un modelo cumplió con los parámetros iniciales de signos y de significancia de las variables no es posible hacer comparación otros modelos, pues ningún otro fue aceptado. Por lo tanto el modelo elegido para la política del cobro diario de parqueadero aboliendo la restricción de ingreso a la Universidad uno de los días de Pico y Placa en la Ciudad es el MNL4_PDPARQ. Se presentaran sin embargo los cuadros resumen de los modelos tanto no aceptados como del modelo aceptado (tabla 30 y 31).

Es importante aclarar que en los modelos HL presentados para esta política no se presentó el mismo caso de la política 1, donde el valor de los Φ era de 1.0 y que por lo tanto colapsaban al MNL, pues en los modelos para la política 2 si se obtuvieron valores distintos para Φ , aunque el problema presentado en estos modelos ya fue de consistencia de signos o de significancia de



las variables, como se podrá observar en el cuadro resumen que se muestra en la tabla 30 de los modelos no aceptados.

Tabla 30. Resumen Modelos no aceptados para política de Cobro diario de Parqueadero

Modelo	Signos	Significancia ($ t \geq 1,96$)	ρ^2	L(Θ)
MNL1_PDPARQ	Si	No	0,313	-53.561
HL1_PDPARQ	No	No	0,283	-714.048
MNL2_PDPARQ	Si	No	0,310	-53.788
HL2_PDPARQ	No	No	0,281	-716.491
MNL3_PDPARQ	No	No	0,385	-295.965
HL3_PDPARQ	No	No	0,395	-291.146
HL4_PDPARQ	Si	No	0,395	-291.147

Tabla 31. Resumen Modelo aceptado para política de Cobro diario de Parqueadero

Modelo	Signos	Significancia ($ t \geq 1,96$)	ρ^2	L(Θ)
MNL4_PDPARQ	Si	Si	0,385	-338.187

Teniendo en cuenta los signos de las variables, el valor del t - test, y el análisis anterior, el ranking de los modelos es el siguiente:

$$HL3_PDPARQ < MNL3_PDPARQ < HL1_PDPARQ < HL2_PDPARQ < MNL2_PDPARQ < MNL1_PDPARQ < HL4_PDPARQ < MNL4_PDPARQ$$

5.3.3 Modelo en Modalidad Predictiva

Política 1: Pago por ingreso y parqueo el día de restricción de ingreso a la Universidad

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. En el caso de la política 1 el modelo es el MNL1_PDCOMUN.

$$U_{VEHI} = 0,874 - 0,000308C_{VEHI} - 0,0264Tv_{VEHI} - 0,457Transb_{VEHI}$$

$$U_{TAXI} = -0,92 - 0,000308C_{TAXI} - 0,0264Tv_{TAXI} - 0,457Transb_{TAXI}$$

$$U_{MMP} = -0,000308C_{MMP} - 0,0264Tv_{MMP} - 0,457Transb_{MMP}$$

$$U_{BUS} = -0,578 - 0,000308C_{BUS} - 0,0264Tv_{BUS} - 0,457Transb_{BUS}$$



Se estima el Valor Subjetivo del Tiempo (**VST**) utilizando la relación: θ_t/θ_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 para toda la comunidad y es acorde a la realidad.

Política 2: Pago diario por parqueo

Se realizará ahora el análisis de la modalidad predictiva con el modelo que presenta mejor resultado para esta política. En el caso de la política 2 el modelo es el MNL4_PDPARQ.

$$U_{VEHI} = 3.15 - 0.000859C_{VEHI} - 0.0331Tv_{VEHI}$$

$$U_{TAXI} = 2.6 - 0.000859C_{TAXI} - 0.0331Tv_{TAXI}$$

$$U_{MMP} = -0.000859C_{MMP} - 0.0331Tv_{MMP}$$

$$U_{BUS} = 0.129 - 0.000859C_{BUS} - 0.0331Tv_{BUS}$$

Se estima el Valor Subjetivo del Tiempo (**VST**) utilizando la relación: θ_t/θ_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 se puede explicar debido a que las encuestas fueron realizadas a un grupo diferente de personas cuyo análisis de ingreso no fue objeto de este estudio.

5.3.3.1 Cuotas de Mercado de los Modos

Con el modelo estimado y que se presenta en el numeral anterior 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, Vehículo, Taxi, Metro/Metroplús y Bus.



Para alimentar el modelo, se han tomado datos promedio de los viajes realizados en auto de los aforos hechos. 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 cada política, para finalmente obtener las cuotas de mercado definitivas.

A continuación se presentan los resultados para la política 1, 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 Vehículo es del 21%, para el Taxi del 11%, para el Metro/Metroplús del 51% y para el Bus del 17%.

Tabla 32. Cuotas de Mercado para los modos estudiados de acuerdo al modelo estimado para la política 1

	Variable	Valor	β	Utilidad	Probabilidad	Viajes diarios
VEHICULO	Costo	10.000	0,874	-2,60	21%	548
	Tiempo Viaje	15				
	Nº transbordos	0				
TAXI	Costo	6.000	-0,920	-3,30	11%	274
	Tiempo Viaje	20				
	Nº transbordos	0				
METRO/ METROPLUS	Costo	1.600	0,000	-1,74	51%	1296
	Tiempo Viaje	30				
	Nº transbordos	1				
BUS	Costo	2.400	-0,578	-2,83	17%	436
	Tiempo Viaje	40				
	Nº transbordos	1				
SUMA	-	-	-	-	100%	2554

De la misma manera se presentan en la tabla 33, las cuotas de mercado de modos obtenidos para la política 2, que se refiere al cobro diario de parqueadero en la Universidad y eliminando la restricción existente al ingreso de los vehículos que tienen Pico y Placa uno de los dos días que tienen la restricción en la ciudad.



Tabla 33. Cuotas de Mercado para los modos estudiados de acuerdo al modelo estimado para la política 2

	Variable	Valor	β	Utilidad	Probabilidad	Viajes diarios
VEHICULO	Costo	6.000	3,150	-2,50	30%	772
	Tiempo Viaje	15				
TAXI	Costo	6.000	2,600	-3,22	15%	378
	Tiempo Viaje	20				
METRO/ METROPLUS	Costo	1.600	0,000	-2,20	41%	1041
	Tiempo Viaje	25				
BUS	Costo	2.400	0,129	-3,26	14%	363
	Tiempo Viaje	40				
SUMA	-	-	-	-	100%	2554

De los resultados de la tabla anterior se puede afirmar que la probabilidad de elección para el Vehículo es del 30%, para el Taxi del 15%, para el Metro/Metroplús del 41% y para el Bus del 14%.

5.3.3.2 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} , es:

$$E_{piq} X_{ikq} = \theta_{ik} X_{ik} (1 - P_{iq}) \quad (18)$$

Se presentan a continuación en las tablas 34 y 35 las elasticidades directas para cada política.

Tabla 34. Elasticidades directas por Modo y Atributo del modelo estimado para la política 1

DIRECTAS					
MODO		ATRIBUTO			
		COSTO	COSTO	TIEMPO VIAJE	TRANSBORDO
		-0,000308	-0,000308	-0,0264	-0,457
Descripción	Probabilidad	100	500	5	1
Vehículo	21%	-2%	-12%	-10%	-36%
Taxi	11%	-3%	-14%	-12%	-41%
Metro/Metroplús	51%	-2%	-8%	-7%	-23%
Bus	17%	-3%	-13%	-11%	-38%



De esta manera se tiene que la probabilidad de elegir vehículo, 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 Vehículo 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; 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. El transbordo no se presenta en el caso del Vehículo ni del Taxi, debido a que en estos modos no tiene por qué presentarse de manera general cambio en el número de transbordos, por la condición misma del modo no hay transbordos. Sin embargo si es importante anotar que los valores obtenidos en este punto específico podrían indicar lo relevante que es para los usuarios el no tener que realizar transbordos, pues hay cambios importantes en las variaciones que se presentan con un sólo transbordo.

Para la elasticidad cruzada se tiene:

$$E_{P_{iq} X_{jkq}} = -\theta_{jk} X_{jk} P_{jq} \quad (18)$$

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 .

Tabla 35. Elasticidades cruzadas por Modo y Atributo del modelo estimado para la política 1

CRUZADAS					
MODO		ATRIBUTO			
		COSTO	COSTO	TIEMPO VIAJE	TRANSBORDO
		-0,000308	-0,000308	-0,0264	-0,457
Descripción	Probabilidad	100	1000	5	1
Vehículo	21%	1%	7%	3%	10%
Taxi	11%	0%	3%	1%	5%
Metro/Metroplús	51%	2%	16%	7%	23%
Bus	17%	1%	5%	2%	8%



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 cambiaría a un 23%.

A continuación se presentan las elasticidades directas y cruzadas (tabla 36 y 37) para la política 2, que está orientada al cobro diario de parqueadero aboliendo la restricción existente del ingreso de vehículos que tienen pico y placa en la ciudad uno de los dos días que se aplica esta norma.

Tabla 36. Elasticidades directas por Modo y Atributo del modelo estimado para la política 2

DIRECTAS				
MODO		ATRIBUTO		
		COSTO	COSTO	TIEMPO VIAJE
		-0,00086	-0,00086	-0,0331
Descripción	Probabilidad	100	500	5
Vehículo	30%	-6%	-30%	-12%
Taxi	15%	-7%	-37%	-14%
Metro/Metroplús	41%	-5%	-25%	-10%
Bus	14%	-7%	-37%	-14%

Se tiene que la probabilidad de elegir vehículo, 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 Vehículo.

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/Metroplús, se estiman las variaciones en 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 cuanto a las elasticidades cruzadas se presenta la tabla 37 a continuación.



Tabla 37. Elasticidades cruzadas por Modo y Atributo del modelo estimado para la política 2

CRUZADAS				
MODO		ATRIBUTO		
		COSTO	COSTO	TIEMPO VIAJE
		-0,00086	-0,00086	-0,0331
Descripción	Probabilidad	100	1000	5
Vehículo	30%	3%	26%	5%
Taxi	15%	1%	13%	2%
Metro/Metroplus	41%	4%	35%	7%
Bus	14%	1%	12%	2%

Según los resultados presentados en la tabla 37 se puede decir 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 mismo 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 vehículo cambiara en \$1000 la probabilidad de elegir los otros modos variaría en un 26%. Análisis similar se puede aplicar para cualquiera de las variables presentadas.



6 CONCLUSIONES

Los docentes y empleados constituyen cerca del 50% de las personas que utilizan vehículo particular por lo que dicha población debería tratarse de forma particular buscando estimular el uso del transporte público o aumentando el grado de ocupación de los autos ya que el índice obtenido (1.3 per/veh) es bastante bajo y esta tendencia afecta directamente el aumento de la congestión

Los modelos obtenidos muestran que los usuarios de vehículos privados 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 de la Universidad, porque descongestionarían, pero además disminuirían los niveles de contaminación y de accidentalidad. Sin embargo la Política 1 (cobro por ingreso y parqueo uno de los días de pico y placa que le corresponde la restricción en la universidad), en este caso, es mejor debido a que tiene un menor porcentaje de usuarios que estarían dispuestos a pagar la tarifa (21% y 30% de la política 2), es decir, menos personas llevarían el auto que es precisamente el objetivo que se persigue, incluso teniendo en cuenta que con la aplicación de la Política 2 (cobro por parqueo diario en la universidad aboliendo la restricción de ingreso por pico y placa), el recaudo sería mayor, pues 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 de 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, cumpliendo de esta manera con un objetivo ambiental, ciudadano y social.

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 por lo menos 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.

Es importante en todo caso tener en cuenta que los resultados de los modelos fueron obtenidos a partir de las encuestas realizadas a los usuarios de vehículos, y existe la posibilidad dentro de la concepción misma de la modelación, de que se presenten sesgos en las respuestas.

La sospecha del sesgo se puede apoyar sobre algunas dificultades presentadas al momento de aplicar las encuestas PD, con algunos de los usuarios, debido a que, a pesar de hacer claridad sobre el objetivo primordialmente académico de este estudio no para todos era creíble y por lo tanto dado el carácter político y social de la Universidad de Antioquia, muchas personas manifestaban su inconformidad con una medida como las propuestas en la encuesta y esta situación podría influir en la decisión de manera intrínseca.

En esta situación en particular, haber obtenido valores tan significativamente altos de las personas que abandonarían su modo habitual de transporte a la Universidad, el auto, para tomar otro modo disponible, puede contener parte de esos sesgos. Pues para las personas el solo hecho de la realización de este estudio podría ser un motivo de temor a que se aplique el cobro y por eso mismo las respuestas podrían estar condicionadas, mostrando la tendencia de tantos a no pagar, mas como una respuesta a oponerse a la posible medida, que como una convicción real, es decir ese porcentaje de personas que abandonarían el auto, eventualmente podría disminuir. Sin embargo no se cree que la disminución sea insatisfactoria, sino que se daría dentro de márgenes aun convenientes para el objetivo propuesto, que es una mejoría en las condiciones de movilidad.

Este tipo de mediciones presentan, as u vez, otras limitaciones que se deben tener en cuenta las. Se experimentó la dificultad de hacer llegar a todos los usuarios la intencionalidad de las preguntas y muchos de los detalles, por lo que era necesario recurrir a explicaciones verbales adicionales, pues sin lugar a dudas, hay un factor subjetivo que no es posible describir y hacer una encuesta que intente envolver el nivel, las expectativas y las limitaciones de toda la muestra no es posible. Esta situación fue interesante porque se pueden recoger muchas de las situaciones que rodean a la población y a pesar de que no sean mostradas en esta tesis, para la investigadora fueron enriquecedoras en la medida en que le ayudan a entender un poco más las percepciones de la población universitaria.



Por último debe aclararse que este trabajo es solo una mirada del problema y el método que se usó para abordarlo entregó resultados útiles, sin embargo, la base de datos y toda la demás información recolectada quedará absolutamente disponible dado que no hay duda de que sería muy interesante observar resultados bajo otros modelos al igual que estudiar otros componentes de la movilidad que aquí, aunque fueron tenidos en cuenta, no fueron estudiados a fondo como el caso particular de la motocicletas, que sin duda es otro factor que incide de manera fundamental en la movilidad del Campus.

Se espera que este trabajo sea divulgado ante la Universidad y la ciudad para tomar decisiones técnicas y que este sea una puerta a nuevos estudios en la temática.



GLOSARIO

Partición Modal: Cuantos viajes utilizan cada modo de transporte dependiendo del costo y nivel de servicio de los modos alternativos de transporte y de la disponibilidad de modos para un viaje específico

Modo: Medios de transporte utilizados y su modalidad de operación

Asignación de tránsito: Arcos de la red de transporte utilizados para viajar asignados a los diferentes modos de transporte público y privado

Atracción de Viajes: Cantidad de viajes de cada categoría que llegan de cada zona de origen en cierto período del día con algún propósito.

Destino: Lugar y momento en que termina un viaje

Distribución de Viajes: Cantidad de viajes entre cada par de zonas de origen destino: Se calcula una matriz de viajes en función de los costos compuestos de transporte entre zonas y de los viajes generados y atraídos por cada zona

Generación de Viajes: Cantidad de viajes de cada categoría que salen de cada zona de origen en cierto período del día con algún propósito.

Localización: Donde se localizan las residencias y las actividades. Es función entre otros factores de su accesibilidad, la cual depende de los costos de transporte al resto de las zonas.

Nivel de Servicio o Calidad: atributos del viaje realizado por un viajero, tales como tiempo de viaje, comodidad, seguridad, confiabilidad

Origen: Lugar y momento en que se inicia un viaje

Propósito: Actividad que se quiere realizar en el destino

Ruta: Trayectoria para llegar desde el origen al destino

Viaje: Es un movimiento de un sentido desde un punto de origen a un punto de destino con un único propósito.

Volumen o Flujo: Cantidad de viajes por unidad de tiempo



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDANA, M Y ZAPATA M (2007) Plan Campus Unal, Componente Movilidad Diagnóstico. Universidad Nacional sede Medellín.
- AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2006). Encuesta Origen Destino Hogares y Estudios Complementarios 2005. Medellín.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, (2007). Formulación del Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín.
- BEDOYA, Julián. (2000) Manual para la Presentación de Informes Técnicos, 3ª Edición, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín, 44 p.
- BEN-AKIVA, M. Y MORIKAWA, T. (1990) Estimation of switching models from revealed preferences and stated intentions. *Transpn. Res.-A*, Vol. 24A, No. 6, pp. 485-495, Gran Bretaña.
- BILBAO, J. y FERNÁNDEZ, A. The influence of quality and price on the demand for Urban transport: the case of university students. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 38 (2004) 607-614
- CANTILLO, Víctor. Notas de clase ECONOMETRÍA. Maestría en Infraestructura y Sistemas de Transporte. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. 2006.
- CARDONA, N. (2008) Modelación mixta del reparto modal de viajes. Aplicado al metrocable Santo Domingo Medellín. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.



- COMISIÓN DE PLANIFICACIÓN DE INVERSIONES EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE - Secretaría Ejecutiva SECTRA. (1998) Metodología para Análisis de Sistemas de Transporte en Grandes Ciudades y Ciudades de Tamaño Medio. Santiago de Chile.
- CÓRDOBA, J. (2007). Elección de un medio de transporte urbano desde el punto de vista de la personalidad. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- DUEÑAS R., Domingo E. (1994). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Introducción a la planeación del transporte. Tunja: U.P.T.C. p.p. 10 -24. Colombia.
- EMPRESA DE DESARROLLO URBANO. (2003). Condiciones Urbanas y Caracterización del Sistema de Transporte Actual en el Valle de Aburra Volumen 1. Medellín.
- ESPINO, Raquel. (2003) Análisis y predicción de la demanda de transporte de pasajeros. Tesis Doctoral en Ciencias Económicas. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España.
- GARCÍA, A. et Al. (2008). Políticas de aparcamientos en campus universitarios y sus efectos en el reparto modal. Congreso de Ingeniería de Transporte. A Coruña, España.
- GARCÍA, Eva. (2006). Modelización del transporte público de viajeros. Proyecto fin de Master. Universidad de Oviedo. España.
- GIRARDOTTI, L. (2001) Demanda de transporte dirigida a redes. Guía de estudio. Facultad de Ingeniería. UBA. Buenos Aires.
- GONZÁLEZ, C. (2007). Modelación de la distribución de viajes en el Valle de Aburrá 2005. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- GONZÁLEZ, Et. Al. (2008). Modelación del reparto modal de viajes: Caso Universidad de Antioquia. Proyecto de Investigación CODI. U. de A. Medellín.
- HERZ, M. GALÁRRAGA, J. Y PASTOR, G. Centros universitarios como polos generadores de viajes. Cátedra Transporte I - FCEFyN - Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.



- HERZ, M., et Al. Cátedra Transporte I - FCEFyN - Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- IBEAS, A. et Al. (2008). El comportamiento del usuario del transporte público en el acceso a campus universitarios. Congreso de Ingeniería de Transporte. A Coruña, España.
- IZQUIERDO, R. Transportes: Un enfoque integral. (1994). Colegio de ingenieros de Caminos Canales y Puertos de España. Madrid.
- KARASH, K. (2003) Understanding How Individuals Make Travel and Location Decisions: Implications for Public Transportation. Transportation Research. Washington, DC. 5 pág.
- 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.
- LOUVIERE, J.J., HENSHER, D.A y SWAIT, J.D. (2000). Stated Choice Methods: Analysis and Application. Cambridge University Press, Cambridge.
- METRO DE MEDELLÍN (2001) Estimación de la demanda para corredores de transporte público masivo de mediana capacidad en el Valle de Aburrá, implementación de un modelo para planeación del transporte de pasajeros en el Valle de Aburrá. Bello.
- MIRALLES, C.; AVELLANEDA, P.G y CEBOLLADA, A. (2003) Los condicionantes de la movilidad en un nodo de la ciudad metropolitana: El caso de la Universitat Autònoma de Barcelona. Universitat Autònoma de Barcelona, Departament de Geografia, Barcelona.
- MURILLO, J. (2007). Modelación de la elección entre transporte público colectivo y un Transporte informal en motocicleta para una ciudad intermedia: Caso de la ciudad de Quibdo. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- ORTÚZAR, J. y WILLUMSEN, L. G. (2001). Modelling Transport. 3a edición, John Wiley & Sons, Chichester.



- ORTUZAR, J. y ROMÁN, C. (2003). El problema de modelación de demanda desde una perspectiva desagregada: el caso del transporte. EURE (Santiago) v.29 n.88, Santiago de Chile.
- ORTUZAR, J. y WILLUMSEN, L. (1994). Modelling Transport. Second Edition. Jhon Wiley & Sons. U.K
- ORTÚZAR, J. (2000). Modelos de Demanda de Transporte. 2ª Edición. Ediciones Universidad Católica de Chile. Alfaomega. México.
- RAMIREZ, O.F., SIERRA, N.L. (1989) Distribución de viajes en el proceso tradicional de planteamiento de transporte urbano. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- ROBUSTÉ, F., Et. Al. (1994) Apunts de Planificació del Transport. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- SARMIENTO Y ROBUSTÉ (1996). Estrategias de racionamiento y tarifas al vehículo privado para la reducción de la congestión urbana. II Simposio de Transporte en España. Madrid, mayo de 1996.
- SARMIENTO, I, ROBUSTÉ, F. (1999b) “Sistemas tarifarios del Vehículo privado en medio urbano”. Editorial Ministerio de Fomento. Madrid.
- SARMIENTO, I. (2005). Introducción al curso Transporte Urbano. Maestría en Ingeniería – Infraestructura y Sistemas de Transporte. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- SCHAFER, A., Victor, D. (2000) The Futures Mobility of the World Population. Transportation Research A., 34. Washington, DC. p.p. 171-205.
- UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA (2008). Estudio de movilidad para la ciudad universitaria. Medellín.
- VALENCIA, V. (2003).Curso Tránsito Urbano. Capítulo Planificación del Transporte. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- VÉLEZ R., C. Universidades se volvieron parqueaderos con aulas. Periódico El Colombiano. Medellín. Feb 2007
- WALPOLE, Ronald. (1999) Probabilidad y Estadística para Ingenieros. 6ª Edición. Editorial Prentice Hall. Hispanoamericana S.A.. México.

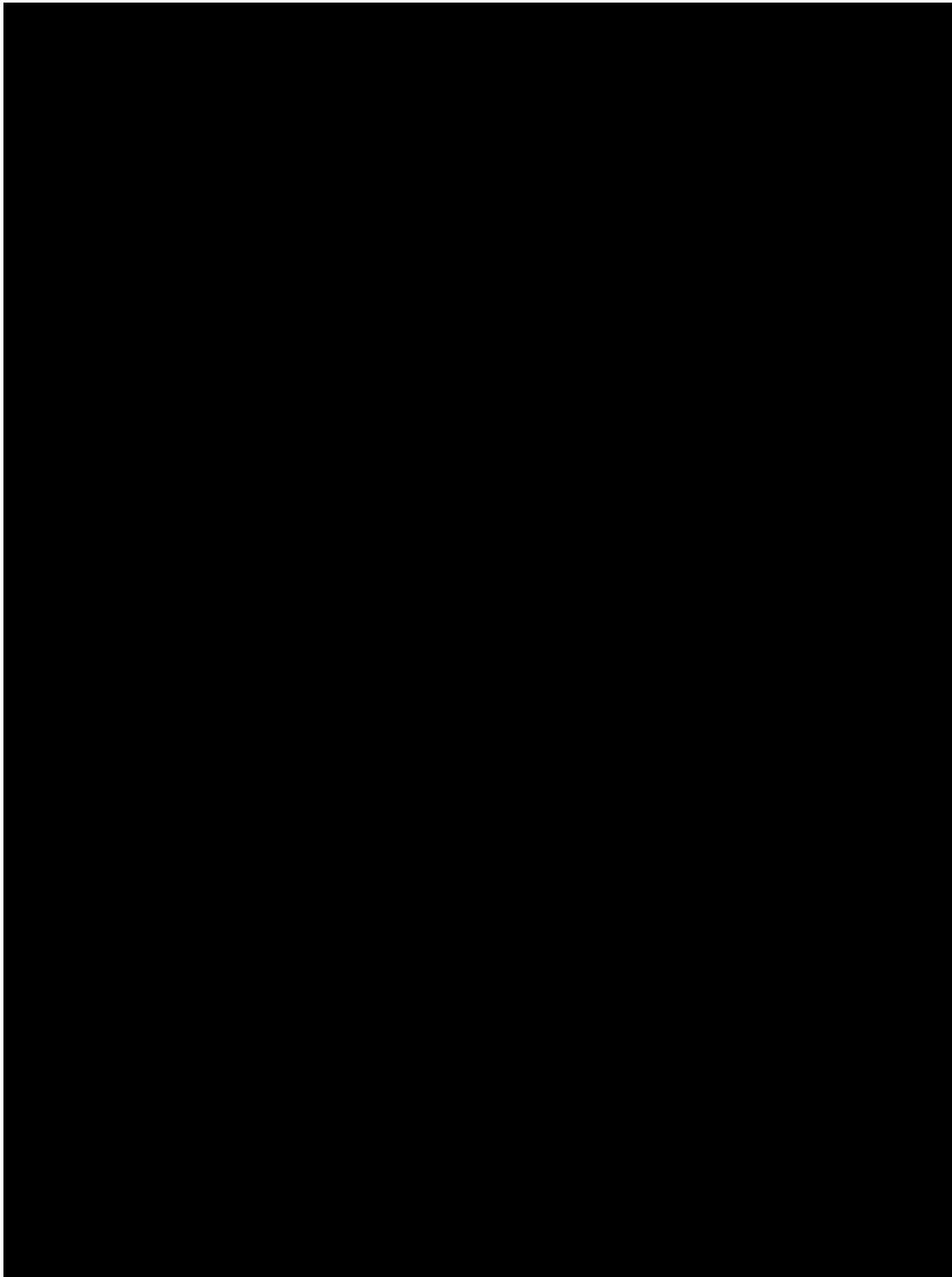
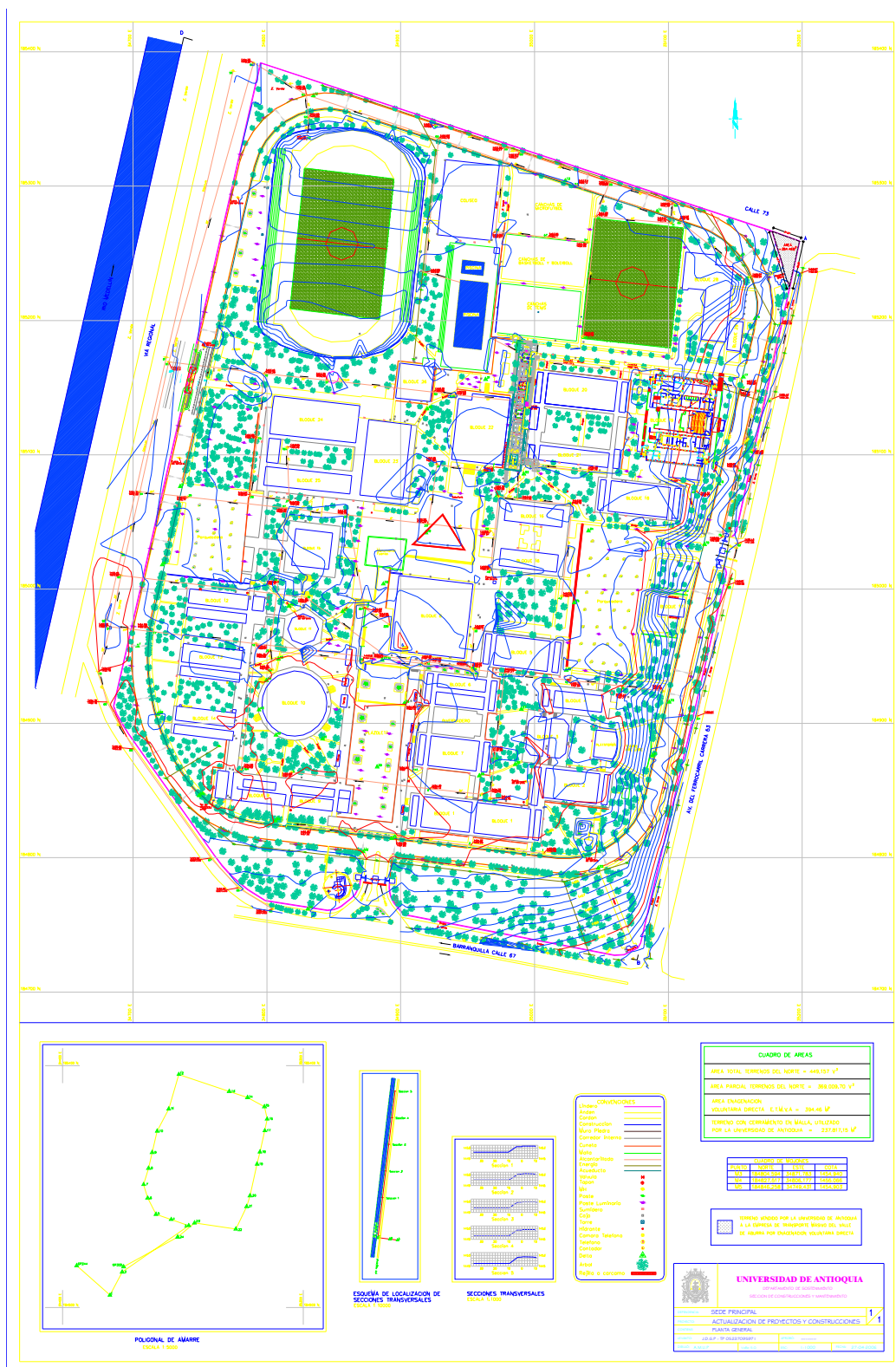


Figura 14. Cantidad de Hoja de respuesta típica de la encuesta PD



Figura 15. Plano





ANEXOS

I. Anexo A.

a. Resumen Ejecutivo

El objetivo de esta investigación es Analizar el problema de la movilidad en Campus universitarios y en especial el de la Universidad de Antioquia como caso de estudio, con ayuda de la modelación del reparto modal para proponer alternativas de solución. Para esto se realizó un diagnóstico de la situación actual y así finalmente buscar alternativas que puedan mejorar las condiciones existentes y es muy claro que hay condiciones que deben ser mejoradas, es el caso del aumento que, en los últimos tiempos, se ha presentado del uso del modo privado de transporte como modo para llegar a la U. de A. y que responde, entre otras cosas, al aumento del parque automotor en el Valle de Aburrá y a algunas deficiencias del servicio de transporte público.

El estudio contempla, entre otras cosas, la modelación del Reparto Modal de viajes a la Universidad de Antioquia y desde allí se plantea el problema en busca de mejorar las condiciones futuras. Para llevar a cabo esta modelación se tomó información de la matriz Origen-Destino en hogares realizada por el Área Metropolitana en el 2005 en la que se determinó cuántas personas llegan a la Universidad de Antioquia y desde cuáles zonas. Adicionalmente, el estudio está apoyado en encuestas de Preferencias Reveladas sobre el modo, origen y propósito de viajes de las personas a la Universidad durante 2008. Finalmente también se realizaron encuestas de Preferencias Declaradas que ayudaron a detectar las tendencias de los viajeros ante situaciones hipotéticas de tarifas, tiempos de viaje y modalidades de viaje y cómo todo esto se relaciona con el problema de circulación y con la determinación de la elección modal. Con la información recolectada se planteó un modelo de reparto modal que finalmente ayude a proponer soluciones futuras que apunten a disminuir la congestión de los parqueaderos y todos los problemas que de ella derivan, contribuyendo así a que uno de los sitios más concurridos de la ciudad cuente con unas condiciones satisfactorias en cuanto a los niveles de servicio mínimos que debe ofrecer una institución no sólo pública, sino que imparte conocimiento y que es una de las líderes en la formación de ciudadanos en la región.



Este documento muestra inicialmente cuáles son los antecedentes del problema de congestión de los parqueaderos en la Universidad de Antioquia, luego define el alcance del problema que se propone investigar y que está más definido en los objetivos y en los aportes que se esperan presentar y que ya han sido brevemente descritos. Continúa en el capítulo 2, con una presentación descriptiva sobre la movilidad urbana y especialmente sobre el reparto modal como una de las etapas que compone el modelo general de transporte de cuatro etapas, incluyendo diferentes modelos que pueden utilizarse. Más adelante en el capítulo 3 el texto se adentra un poco más en el problema específico de la movilidad a nivel de los campus universitarios apoyándose en la observación de los casos vecinos y de otros países iberoamericanos y de una revisión bibliográfica que permite ampliar un poco más la visión de este tipo de comunidades. En el capítulo 4 se puede encontrar la sección de la metodología que se empleó para llevar a cabo este trabajo, mostrando cómo se realizó el diagnóstico de movilidad en la universidad y el abordaje a la modelación de reparto modal, el tipo de datos con los que se trabajó y cómo se obtuvieron éstos. Finalmente en los capítulos 5 y 6 se muestra el diagnóstico de movilidad en el campus universitario y el trabajo sobre la modelación de Reparto Modal planteado a partir de esta investigación desarrollado en el software BIOGEME junto con los resultados obtenidos, así mismo como las conclusiones, que se esperan puedan contribuir a un mejor entendimiento de la movilidad en un tipo tan particular de comunidad como lo es un Campus Universitario y buscando igualmente, por supuesto, poder contribuir de algún modo a un mejoramiento de las condiciones presentes de la Universidad de Antioquia en su sede central, ya que se trata de uno de los centros de conocimiento y de cultura más importantes de la Ciudad de Medellín.

Se espera que esta investigación sea la puerta de entrada a nuevos proyectos en este campo, los cuales pueden desarrollar otras propuestas buscando siempre superar las condiciones actuales y aportar a la planeación de una ciudad que no se detiene frente a los nuevos retos que presenta la sociedad.



II. Anexo B. Resultados consolidados de Encuestas

- a. **PD_Parq_consolidado.xls (Preferencia Declarada de Pago a parqueaderos)**
- b. **PD_PyPl_Comun_consolidado.xls (Preferencia Declarada de Pago por PyPl)**
- c. **PR_Consolidado.xls (Preferencia Revelada)**

III. Anexo C: Tablas de Salidas del software Biogeme

- a. **HL1-PDCOMUN.REP**
- b. **HL1-PDPARQ.REP**
- c. **HL2-PDCOMUN.REP**
- d. **HL2-PDPARQ.REP**
- e. **HL3_PDCOMUN.REP**
- f. **HL3-PDPARQ.REP**
- g. **HL4_PDPARQ.REP**
- h. **MNL1_PDCOMUN.REP**
- i. **MNL1_PDPARQ.REP**
- j. **MNL2_PDCOMUN.REP**
- k. **MNL2_PDPARQ.REP**
- l. **MNL3_PDCOMUN.REP**
- m. **MNL3_PDPARQ.REP**
- n. **MNL4_PDCOMUN.REP**
- o. **MNL4_PDPARQ.REP**

Tanto los Anexos B como los C se encuentran disponibles en la versión digital en CD