

EL PROBLEMA DE MOVILIDAD EN CAMPUS UNIVERSITARIOS. CASO
APLICADO: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Diana Patricia Moreno Palacio, I.C.

TESIS DE MAESTRÍA

Tesis presentada como requisito para optar al título de
Magíster en Ingeniería - Infraestructura y Sistemas de Transporte



Director

Iván Reinaldo Sarmiento Ordosgoitia, Ph.D.

Co-Asesor: Edwin Fabián García Aristizábal, MSc

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Facultad Nacional de Minas

Escuela de Ingeniería Civil

Medellín, Agosto de 2008



NOTAS DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Segundo Jurado

Tercer Jurado

Medellín, Agosto de 2008

DEDICATORIA

Para mi adorado tío. Esto es lo poco que te puedo devolver...

A mi Abuela, mi madre y mi hermana...mis bellas mujeres.



AGRADECIMIENTOS

No son agradecimientos, son aplausos y mil abrazos para ustedes, quienes no me han dejado renunciar y por el contrario cada día, con cada palabra y con cada acto hacen que no pierda el sentido y la dirección y por supuesto por las largas y profundas discusiones. Gracias a ustedes: A mi Juan por estar siempre ahí, por su amorosa compañía y por las noches de cansancio en las que me escuchabas con paciencia. A Alex y Memito por enseñarme tanto, por creer en mí siempre, por su lealtad inquebrantable y por las risas que me regalan siempre y a Diego por su cálido afecto y su generosidad. Gracias por permitirme quererlos y aprender de todos ustedes.

Muchas gracias a Mi Director Iván Sarmiento, por sus consejos y confianza y a mi co-asesor Edwin García por su inmensa disposición y por su leal amistad. Y muy especialmente a Carlos González, porque su ayuda y solidaridad incondicional han sido invaluable.

Gracias a mis compañeros, jefes y amigos Beatriz Wills y Carlos Alberto Palacio por su apoyo y preocupación y en general al Grupo de Investigación en Gestión ambiental GIGA y a la Universidad de Antioquia por creer en esta propuesta.

Le agradezco a la Universidad Nacional, en especial a la maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte, a mis profesores y compañeros Víctor Cantillo, Pedro Botero, Patricia Jaramillo, Jorge Eliécer Córdoba, Marcela Aldana y a todos mis amigos y compañeros que siempre me apoyaron en este proceso.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	10
1.1 INTRODUCCIÓN	10
1.2 ANTECEDENTES	12
1.3 ALCANCE	14
1.4 OBJETIVOS	15
1.4.1 Objetivo general	15
1.4.2 Objetivos específicos	15
2 COMPONENTES DE LA PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO	16
2.1 ELEMENTOS DEL TRANSPORTE URBANO	16
2.2 MODELOS DE TRANSPORTE	18
2.2.1 Etapas del modelo de transporte	19
2.3 MODELOS DE ELECCIÓN DISCRETA	20
2.3.1 La teoría de la utilidad aleatoria	22
2.3.1.1 Modelo Logit Multinomial (MNL)	24
2.3.1.2 Modelo Logit Jerárquico (HL)	26
2.3.1.3 Modelo Probit Multinomial	29
2.3.1.4 Modelo Logit Mixto (ML)	30
2.3.1.5 Modelación del reparto modal con datos mixtos	31
3 MOVILIDAD EN CAMPOS UNIVERSITARIOS	37
3.1 ESTADO DEL ARTE PARA CAMPUS UNIVERSITARIOS	37



3.2 ANTECEDENTES DE OTRAS UNIVERSIDADES LOCALES.....	39
3.1.2 Universidad Pontificia Bolivariana	42
3.1.3 Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín	43
3.1.4. Universidad de Antioquia	44
4 METODOLOGÍA.....	45
4.1 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE UN MODELO DE REPARTO MODAL.....	45
4.1.1 Formulación del problema	45
4.1.2 Caracterización del estudio de acuerdo a su ámbito social	45
4.1.3 Tipos de datos	45
4.1.3.1 Diseño experimental de una encuesta con técnica de P.D.	48
4.1.3.2 Tipos de experimento para encuestas de Preferencias Declaradas	49
4.1.4 Construcción y Calibración de un Modelo Analítico.....	49
4.1.4.1 Formulación del modelo.....	49
4.1.4.2 Enfoque de modelación	50
4.1.4.3 Especificación del modelo.....	50
4.1.4.4 Generación de soluciones para ser probadas.....	50
4.2 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE ENCUESTAS DE PREFERENCIAS DECLARADAS (PD) PARA EL CASO DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.....	51
5 ESTUDIO DE CASO: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.....	57
5.1 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA..	57
5.2 MOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	59
5.3 MODELACIÓN DEL REPARTO MODAL EN LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	65
5.3.1 Modelación con encuestas PD	65
5.3.2 Modelos MNL y HL con datos PD.....	70
5.3.2.1 Política 1: Pago por ingreso y parqueo el día de restricción de ingreso a la Universidad.....	70
5.3.2.2 Política 2: Pago diario por parqueo.....	75
5.3.3 Modelo en Modalidad Predictiva.....	77
Política 1: Pago por ingreso y parqueo el día de restricción de ingreso a la Universidad.....	77
Política 2: Pago diario por parqueo.....	78
5.3.3.1 Cuotas de Mercado de los Modos.....	78
5.3.3.2 Elasticidad de Modelos MNL	80
6 CONCLUSIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS.....	94
I. Anexo A.	94
a. Resumen Ejecutivo.....	94



II.	Anexo B. Resultados consolidados de Encuestas	96
a.	PD_Parq_consolidado.xls (Preferencia Declarada de Pago a parqueaderos).....	96
b.	PD_PyPI_Comun_consolidado.xls (Preferencia Declarada de Pago por PyPI)	96
c.	PR_Consolidado.xls (Preferencia Revelada)	96
III.	Anexo C: Tablas de Salidas del software Biogeme	96
a.	HL1-PDCOMUN.REP.....	96
b.	HL1-PDPARQ.REP	96
c.	HL2-PDCOMUN.REP	96
d.	HL2-PDPARQ.REP	96
e.	HL3_PDCOMUN.REP	96
f.	HL3-PDPARQ.REP	96
g.	HL4_PDPARQ.REP	96
h.	MNL1_PDCOMUN.REP.....	96
i.	MNL1_PDPARQ.REP.....	96
j.	MNL2_PDCOMUN.REP.....	96
k.	MNL2_PDPARQ.REP.....	96
l.	MNL3_PDCOMUN.REP.....	96
m.	MNL3_PDPARQ.REP.....	96
n.	MNL4_PDCOMUN.REP.....	96
o.	MNL4_PDPARQ.REP.....	96



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condición de las personas sobre el total de los encuestados	61
Tabla 2. Condición de las personas sobre los conductores encuestados	61
Tabla 3. Nivel de ocupación de los automóviles de la Ciudad Universitaria	62
Tabla 4. Total Origen - Destino.	63
Tabla 5. Espacio disponible para parqueaderos.....	64
Tabla 6. Definición de las variables.....	66
Tabla 7. Definición de los valores de las variables.	66
Tabla 10. Signos esperados para las variables de las funciones de Utilidad.....	67
Tabla 11. Descripción de la muestra obtenida encuesta PD Pico y Placa.....	67
Tabla 12. Descripción de la muestra obtenida encuesta PD Pico y Placa.....	67
Tabla 13. Resumen encuesta PD Pico y Placa.....	67
Tabla 14. Elecciones de PD Pico y Placa entre las mujeres.....	68
Tabla 15. Elecciones de PD Pico y Placa entre los hombres.....	68
Tabla 16. Descripción de la muestra obtenida encuesta PD Parqueadero	68
Tabla 17. Descripción de la muestra obtenida encuesta PD Parqueadero	69
Tabla 18. Resumen encuesta PD Parqueadero	69
Tabla 19. Elecciones de PD Parqueadero entre las mujeres	69
Tabla 20. Elecciones de PD Parqueadero entre los hombres	69
Tabla 21. Modelos MNL1 y HL1 con datos PD para Pico y Placa	71
Tabla 22. Modelos MNL2 y HL2 con datos PD para Pico y Placa	71
Tabla 23. Modelos MNL3 y HL3 con datos PD para Pico y Placa	72
Tabla 24. Modelos MNL4 con datos PD para Pico y Placa	73
Tabla 25. Resumen Modelos no aceptados para política de Pico y Placa.....	73
Tabla 26. Modelos aceptados para política de Pico y Placa.....	74
Tabla 27. Ranking de los Modelos aceptados para política de Pico y Placa	74
Tabla 28. Modelos MNL1, MNL2, MNL3 y HL1, HL2, HL3 con datos PD para Parqueo .	75
Tabla 29. Modelos MNL4 y HL4 con datos PD para Parqueo	76
Tabla 30. Resumen Modelos no aceptados para política de Cobro diario de Parqueadero	77
Tabla 31. Resumen Modelo aceptado para política de Cobro diario de Parqueadero	77
Tabla 32. Cuotas de Mercado para los modos estudiados de acuerdo al modelo estimado para la política 1.....	79
Tabla 33. Cuotas de Mercado para los modos estudiados de acuerdo al modelo estimado para la política 2.....	80



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases del modelo de transporte.	17
Figura 2. Etapas del modelo de transporte.	19
Figura 3. Estructura de un Modelo Logit Jerárquico (HL)	26
Figura 4. Estructura de un Modelo Logit Jerárquico con más de un nivel jerárquico (HL)	28
Figura 5. Estructuras de Modelo Logit Jerárquico (HL) con nidos colapsados	28
Figura 5. Gráfico con los parámetros de los modelos de PR y PD.....	32
Figura 6. Grafico de estimación con datos mixtos	34
Figura 7: Formato de PD Pico y Placa calculada para la comuna 1.....	55
Figura 8: Formato típico de hoja de respuesta para la encuesta PD Pico y Placa y Parqueadero	56
Figura 9. Flujo de entradas y salidas vehículos.....	59
Figura 10. Porcentaje de ocupación de los parqueaderos de automóviles en la Ciudad Universitaria.....	60
Figura 11. Condición de las personas sobre los conductores encuestados.....	61
Figura 12. Reparto modal U. de A.	62
Figura 13. Cantidad de motocicletas parqueadas en ciudad universitaria.....	64
Figura 14. Cantidad de Hoja de respuesta típica de la encuesta PD.....	92
Figura 15. Plano	93



RESUMEN

En esta Tesis de Maestría se aborda el problema de movilidad en Campus Universitarios y para el caso de la Universidad de Antioquia (U. de A.), se elaboró un diagnóstico vial 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 el diseño de una solución a este problema de movilidad. Se encontró que las personas que ingresan a las instalaciones del campus lo hacen principalmente en modo a pie (aproximadamente 20%), en servicio público colectivo (bus y Metro) 70% y últimamente se ve marcada la tendencia a usar vehículo privado 10%, especialmente motocicleta.

También se trabajó en la elaboración de un modelo de Reparto Modal de viajes a la Universidad de Antioquia, donde se estudió el caso mencionado aplicando modelos de demanda desagregados utilizando la técnica de preferencias declaradas (PD) y aplicando modelos tipo Logit. Se realizaron aforos de entradas vehiculares y encuestas en la Universidad a personas con y sin automóvil para así obtener las condiciones actuales de ingreso en los diferentes modos de transporte y se hicieron preguntas hipotéticas a usuarios con vehículo particular con el fin de analizar si era posible una disminución del uso de este tipo de vehículo y para concientizar a las personas que visitan la Universidad de que utilicen el sistema de transporte público ya que la congestión dentro de ésta es un reflejo de la problemática del sistema de transporte de la ciudad.

Palabras clave: Campus Universitario, Reparto modal, Movilidad.



ABSTRACT

This research tackles the mobility problem in University Campuses, especially at Universidad de Antioquia's campus. With this purpose, there was a vial diagnosis related to the way people access U. de A.'s campus and different ways of transportation they used, as well as the use of parking places. This diagnosis was the raw material to propose a solution to the mobility problem at U. de A.

It was found that approximately 20% of people arriving at the Campus come walking; 70% use collective public transportation service: bus, metro; and 10% use private vehicles, mainly motorcycles.

This research also prepared a Modal Split Model for U. de A. based on transportation demand models using Stated Preferences technique and applying Logit Models. There were surveys related to the amount of people accessing Universidad de Antioquia by car or walking thus obtaining current ways for accessing U. de A. using different ways of transportation and were asked hypothetical questions to analyze if it was possible to use fewer private vehicles in U. de A. and to make people visiting the U. de A aware of the need of using public transportation because the traffic in this institution shows the transportation problem in the city.

Key words: University Campus, Modal split, Mobility.



1 INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

La congestión vehicular para cualquier ciudad, es uno de los puntos débiles al momento de hablar de desarrollo y de calidad de vida y Medellín no es la excepción. Esta ciudad que ha venido aumentando en población, debido no sólo a la natalidad sino además a los problemas sociales y de violencia como el desplazamiento forzoso, por ejemplo, exige cada vez más que todos sus sistemas de desarrollo (tecnológico, científico, social, económico y cultural) y de crecimiento sean más amplios, incluyentes y eficientes. El crecimiento de la población, además trae consigo consecuencias muy importantes que repercuten de manera muy especial en la planeación de la ciudad. Así por ejemplo estos cambios en la población implican cambios también al interior de la organización social propia de la ciudad y como consecuencia, de particular interés, es el crecimiento del parque automotor del Valle de Aburrá. Esta característica es una de las principales causantes de la falta de eficiencia de las vías actuales y que, acompañada por supuesto de una evidente falta de planeación en el pasado, se convierte en el caos vehicular que se vive diariamente, durante los períodos pico, en las calles no sólo de Medellín sino, en general, del Valle de Aburrá (Sarmiento, 2005). Es por eso que la congestión se convierte en la actualidad en uno de los focos de interés para quienes estudian las medidas que deberán adoptarse para mejorar las condiciones que enfrentan todos los habitantes de la ciudad de una u otra forma, cada vez que entran en contacto con cualquiera de los modos de transporte y se encuentran con esta realidad. A pesar de que la congestión ocurre en muchos puntos de la región, hay ciertos lugares que por su tipo de servicio o de interés para la comunidad son de particular importancia y son prioritarios al momento de pensar en el modo de llegada hasta ellos. Es el caso de las Universidades que son, sin duda, centros que, en su condición masiva, concentran porciones importantes de la población y por supuesto esto influye en el comportamiento general de tránsito de una ciudad. Podría decirse que el problema de movilidad dentro de un campus universitario podría eventualmente



compararse con algún centro poblado, pero ese no es el objeto que se estudiará en este momento, sí en cambio se tomará en cuenta que cuando se habla de campus que tienen una alta concentración de población, debe entonces, y tal como se haría en cualquier ciudad, analizarse, moderar y mejorar todo el sistema de movilidad. En ese orden de ideas, en la ciudad de Medellín y en el Valle de Aburrá, en general, un ejemplo claro de lo que se acaba de describir es la Universidad de Antioquia a la que diariamente acude un alto número de personas (42.000 diarias, EOD, 2005) bien sea a realizar actividades académicas, laborales, culturales o recreativas. Cabe anotar que las personas que recibe no son solamente aquellas que están vinculadas directamente a ella, sino también visitantes que llegan en busca de algún tipo de información o servicio, convirtiéndose en un lugar por el que vale la pena preguntarse cuál es su situación en cuanto a los niveles de servicio del acceso para todas aquellas personas que lo visitan. Y ese es precisamente el objetivo de esta investigación: Poder dar respuesta a esa pregunta a través de un diagnóstico de la situación actual para 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 Universidad y que responde, entre otras cosas, al aumento, ya mencionado, del parque automotor del 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.

1.2 ANTECEDENTES

El sistema de transporte urbano constituye uno de los ejes fundamentales para el desarrollo social y económico de una ciudad, pues de su buen funcionamiento depende en gran medida la ejecución de las actividades que a diario tienen que realizarse, ya que permite la movilización, sin la cual sería imposible responder a las exigencias propias de una ciudad que, como en el caso del Valle de Aburrá, está cada día incrementando su población y todas las



consecuencias derivadas, como la contaminación ambiental, la accidentalidad y la congestión dado el también creciente parque automotor.

La saturación de algunos sectores de la red vial metropolitana, como la Av. Regional, Av. El Poblado, Av. Oriental, Calle San Juan, Av. Colombia, Carrera 80, entre otras, se debe principalmente, como se mencionó antes, al acelerado crecimiento del parque automotor en el Valle de Aburrá (alrededor del 7% anual entre 2005 y 2007), al lento crecimiento de la oferta de capacidad del sistema vial arterial, a la atomización del transporte público colectivo de pasajeros (microbuses y taxis) y al inadecuado uso de las vías. Esto sin ignorar otros motivos de menor importancia en el ámbito de ciudad, pero que adquieren relevancia a escala zonal, como las unidades urbanísticas cerradas, la falta de continuidad vial, la presencia de centros comerciales en zonas con dificultades de accesibilidad, etc. (Sarmiento, 2005).

La problemática de movilidad en el Valle de Aburrá ha tratado de solucionarse a través de pequeñas medidas en la operación del transporte público colectivo y la implantación del primer y único sistema de transporte masivo tipo Metro en Colombia. No obstante y aunque la región cuenta con un medio de transporte, eficiente, rápido y seguro; en Medellín no se ha podido resolver los problemas de transporte que se presentan, por la falta de una política clara de transporte que genere los cambios estructurales necesarios para tener un buen funcionamiento como sistema integrado de transporte, aunque con la realización del Plan Maestro de Movilidad culminado en 2007 se tiene una directriz importante que mejora las expectativas para el futuro próximo.

Esta área urbana tiene un gran número de viajes hacia diferentes lugares y en los diferentes modos de transporte; y es necesario tener modelos que predigan cuál será la cantidad de viajes, su distribución espacial y modal en el futuro, de modo que estos modelos sean elemento insustituible para apoyar la planificación del transporte y tomar decisiones sobre las alternativas de solución a los problemas de movilidad urbana (Sarmiento, 2005).

En la Universidad de Antioquia, la más grande de la región, 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 compuestos por familiares de trabajadores y público en general, todos ellos realizando una gran cantidad de viajes diarios hacia y desde el campus universitario.

En la Universidad se ve el reflejo de la situación vehicular de la ciudad, pues a pesar de que hay predominio de los estratos 1, 2 y 3, la motorización ha aumentado considerablemente en los últimos años. Es común escuchar a estudiantes y profesores quejarse ante la dificultad de parqueo o la obligación de ubicar su vehículo en un sitio lejano de su lugar habitual. Adicionalmente se puede observar una alta congestión por el parqueo excesivo de motocicletas.

Las personas que ingresan a sus instalaciones lo hacen en diferentes modos, principalmente en modo peatonal, en servicio público colectivo (bus y Metro) y últimamente se ha observado una marcada tendencia al uso del vehículo privado.

Con esta tesis se busca tener una herramienta de apoyo en la concientización a los visitantes habituales de la Universidad de la importancia del uso del sistema de transporte público, así como otras estrategias que favorezcan la descongestión y la optimización de las vías y parqueaderos de la universidad.

1.3 ALCANCE

Por contar con tan diverso y amplio rango de visitantes, las universidades deben pensar en buscar alguna solución que pueda mejorar las condiciones de movilidad en su interior, pero particularmente buscar la manera de disminuir la congestión de parqueaderos que se vive diariamente y sus inherentes consecuencias ambientales, en ruido y polución, económicas, en el costo del tiempo que se pierde mientras se está en la búsqueda de un espacio para parqueo, de respeto y uso del espacio público, pues muchas veces esta congestión favorece el uso de espacios prohibidos para parqueo y de inseguridad, por el posible incremento de la accidentalidad.

Para poder llegar a esa posible solución se requiere entonces de un estudio desde el cual se determine el comportamiento de la población universitaria en cuanto a su modo de llegada al campus, es decir, realizar un estudio que comprenda aspectos relativos a la movilidad dentro de los campus y trabajar en un Modelo del reparto modal de la población que habitualmente llega a la Universidad, basándose por supuesto en algunos rasgos de la población de interés y en la determinación de la partición modal.



En esta tesis el caso de estudio es la Sede Central de la Universidad de Antioquia y desde los modelos que se obtengan se pretende entonces poder diagnosticar de un modo mucho más acertado la situación real de la Universidad en cuanto al problema de congestión y uso adecuado de los parqueaderos y desde allí buscar una posible salida y mejoramiento de dichas condiciones a través del estudio de la situación presente, lo que a la vez servirá de base, en futuros estudios, para la predicción de viajes realizados en cada modo para los próximos años y en la cual deben tenerse en cuenta datos importantes como la proyección del número de nuevos cupos para estudiantes, la apertura de nuevas carreras, los datos referentes al aumento de la actividad socio-económica que puede traducirse en el posible aumento en la adquisición de vehículo privado, moto o automóvil y el incremento de las actividades lúdico-recreativas, culturales, deportivas y académicas que responden al crecimiento mismo de la Institución y que puede significar un mayor número de visitantes, entre otros.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Analizar el problema de la movilidad en Campus universitarios con ayuda de la modelación del reparto modal para proponer alternativas de solución.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudiar la situación actual respecto a la movilidad en los campus universitarios más importantes de la ciudad de Medellín y en particular analizar el caso de la Universidad de Antioquia en su sede central.
- Analizar la capacidad de los parqueaderos al interior de la Universidad de Antioquia para proponer posibles soluciones al problema de movilidad que se presenta en ella.
- Modelar el reparto modal de viajes en la Universidad de Antioquia utilizando modelos agregados y/o desagregados.
- Analizar las variables que tienen mayor influencia dentro del modelo de reparto modal de viajes en campus universitarios.
- Analizar algunas políticas de gestión de la movilidad para medir su influencia en el reparto modal.



2 COMPONENTES DE LA PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO

2.1 ELEMENTOS DEL TRANSPORTE URBANO

La movilidad y el tráfico son componentes esenciales de la vida urbana. Los servicios de transporte de viajeros se originan como consecuencia de la necesidad de realizar actividades que implican desplazamientos: ir a la trabajo, a la universidad, ir de compras, al médico, etc. constituyen una expresión de libertad que posibilita la realización de viajes por muchos motivos, a diferentes horas y en diferentes modos de transporte. Todas las actividades urbanas exigen por lo tanto un lugar en el cual desempeñarse y muy comúnmente se presenta una falta de coincidencia entre los lugares donde desarrollan dichas actividades y el lugar de su domicilio, obligando entonces a las personas a trasladarse hasta ellos, y es en este punto donde los sistemas de transporte desempeñan un papel fundamental.

Las ciudades concentran los mayores problemas de transporte, y en ellas se dan las relaciones más complejas de transporte de personas y mercancías por medios mecanizados junto con el tránsito de peatones. En las ciudades vive la mayor parte de las personas de una región o de un país (el 75% de la población colombiana vive en ciudades), y por tanto la repercusión de sus problemas y soluciones es mucho mayor (Sarmiento, 2005).

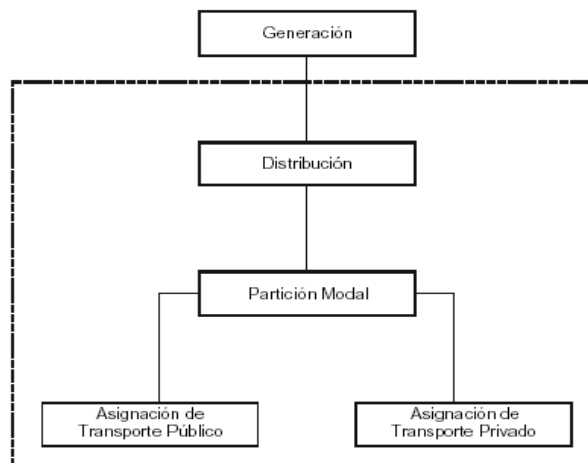
Un sistema de transporte tiene como objetivo fundamental satisfacer la demanda mediante la provisión de una oferta adecuada que responda a las exigencias. Para que la demanda de transporte se satisfaga de modo eficiente se necesita la planificación a corto y largo plazo mediante el conociendo de los atributos que la caracterizan.

La planificación es una de las actividades básicas del ingeniero (además del diseño, la construcción y la operación de sistemas). Se trata de analizar un sistema para entenderlo (modelización) y prever su comportamiento futuro ante determinadas circunstancias y de proveer las condiciones para que funcione de tal forma que se cumplan determinados objetivos. La planificación se enfrenta a problemas tales como la diferencia entre la visión técnica y política de los problemas, las estrategias de actuar sin planificación, apagando fuegos



donde aparecen, la planificación sectorial y no integral, los costos y el problema de la información. Sin embargo, la planificación es un campo con futuro, ya que cada vez más se requiere de ésta para la toma de decisiones (Sarmiento, 2005).

Para representar el sistema de transporte de un área en estudio, es posible utilizar el modelo Clásico de Transporte de Cuatro Etapas, presentado en la figura 1, el cual simula el comportamiento de los usuarios del sistema a través de tres etapas de Demanda de Viajes (Generación y Atracción, Distribución, Reparto Modal) y una etapa de oferta de servicios (Asignación de viajes a las redes).



Fuente: Manual de Conceptos y Lineamientos para la Planeación del Transporte Urbano

Figura 1. Fases del modelo de transporte.

El primer paso es el modelo de generación y atracción de viajes que busca explicar los viajes producidos y atraídos con base en variables socioeconómicas.

El paso siguiente, es distribuir los viajes de acuerdo con un criterio determinado que suele consistir en un modelo matemático calibrado para replicar la distribución de viajes según sus costos y que permitan determinar las matrices Origen-Destino del futuro a partir del año base.

En este momento entra en juego un nuevo elemento: los modos de transporte y el reparto de viajes a través de ellos, que serán función de sus características: comodidad, nivel de servicio, costo, tiempo de viaje, etc. Su estudio corresponde a la repartición modal cuya determinación lleva posteriormente a la asignación, es decir, el cálculo de viajeros que circularán en cada hora, en una dirección y en un medio de transporte determinado, valiéndose de modelos matemáticos iterativos. (Ramírez, 1989).



2.2 MODELOS DE TRANSPORTE

Un modelo es la representación simplificada de la realidad por un sistema matemático, ya que toma las variables más representativas de un sistema y evalúa su influencia mediante el ensayo de varias alternativas. Permite conocer a fondo las características del sistema, aumenta sustancialmente la cantidad de alternativas a ser evaluadas y optimiza el diseño de las soluciones (González, 2007).

El problema consiste, en encontrar las variables adecuadas del modelo, sin caer en peligrosas simplificaciones que podrían llevar a presentar el sistema en estudio en forma muy diferente a la realidad (Ramírez, 1989)

Estas variables pueden ser de dos tipos:

- Variables independientes: sirven para resolver el modelo, determinando el valor de las dependientes. Son los datos de entrada del modelo, no dependen de circunstancias propias del modelo, y su determinación se hace al margen del mismo.
- Variables dependientes: Se busca despejarlas por medio del modelo y determinarlas a partir de las independientes. El valor resultante de estas variables depende del contenido del propio modelo.

La complejidad de los sistemas de transporte ha mostrado la conveniencia de contar con herramientas analíticas que le permitan a los organismos encargados de la planeación, disponer de un adecuado conocimiento del sistema y poder hacer predicciones.

La forma de implementación de un modelo de transporte o tránsito, requiere la ejecución de una serie de etapas sucesivas en el desarrollo y estudio del modelo, que se inician con la recolección de datos descriptivos del área de estudio: Las condiciones de la calzada, la geometría de cada uno de los elementos de la red como anchos de calzada y sus carriles, radios de curvas, rampas de ingreso o egreso, pendientes, y demás elementos de diseño geométrico. La infraestructura urbana y vial de la zona debe ser evaluada con precisión: semaforización, señalización, paradas de transporte público, áreas de estacionamiento. Las características particulares de la circulación vial son un componente determinante en la descripción: los sentidos circulatorios, movimientos permitidos, prioridades de paso, fases y ciclos semafóricos, señalización inteligente, restricciones y demás elementos a incorporar al modelo. La característica más importante a incorporar es la demanda de tránsito. La realización de aforos para determinar flujos vehiculares, la composición del tránsito, porcentajes de giro y una serie de datos que permiten inferir el comportamiento y hábito de los conductores para determinar



el perfil de la demanda. Otra de las etapas de recolección de datos es la de la demanda, la cual se obtiene de encuestas Origen-Destino, y que será mencionada más adelante en cada una de las etapas.

La validación de un modelo, es decir, la comparación de la situación real existente con la que ofrece la modelación con los datos correspondientes a ella, permite la confirmación de la calibración del modelo y asegura la correcta evaluación de la oferta y la demanda vial (Ruiz, 2000).

2.2.1 Etapas del modelo de transporte

En el modelo tradicional de 4 etapas, mencionado anteriormente, se considera que el usuario realiza una serie de decisiones sucesivas y, por tanto, independientes unas de otras, como se muestra en la figura 2:

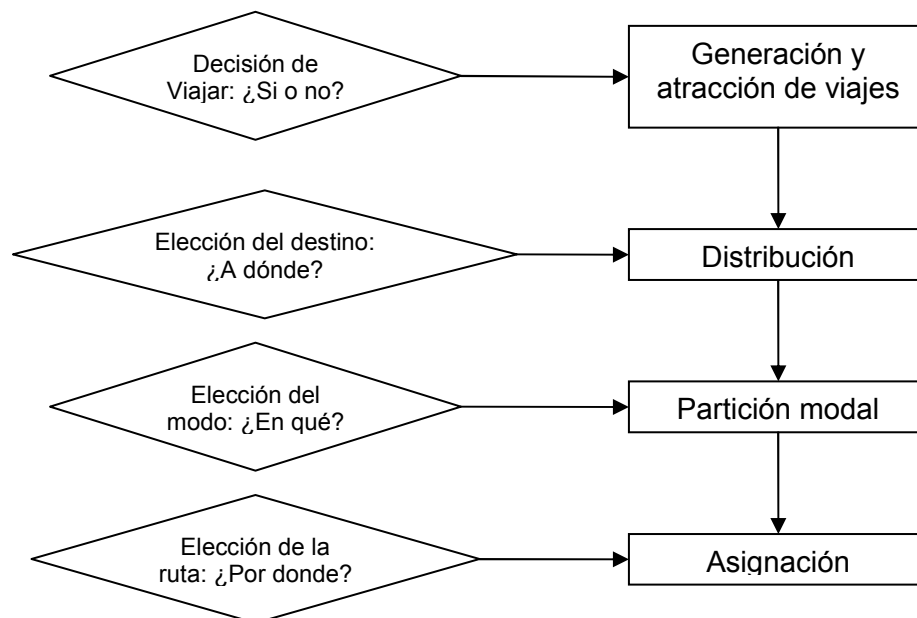


Figura 2. Etapas del modelo de transporte.

La cantidad y tipos de viajes son estimados en la fase de Generación de viajes para cada zona de análisis. En la etapa de distribución, los viajes por propósito se vinculan con las zonas atractoras a través de una matriz con impedancia Zona a Zona (la impedancia está determinada por tiempo, distancia, costo). En la fase de Partición modal, los viajes de las personas se convierten a viajes en auto y otro tránsito, basándose en una función costo/disponibilidad/preferencia relativa. Estos viajes son cargados a la red de transporte para la Asignación sobre las vías de circulación, usualmente a través de algún método de equilibrio



que utiliza el tiempo de viaje y congestión, con la premisa de que los individuos pueden reducir sus costos por selección de rutas.

Las cuatro etapas del modelo de transporte junto con sus componentes generales son presentados detalladamente en González, 2007, por lo tal motivo no se presentará dicho detalle en este trabajo.

2.3 MODELOS DE ELECCIÓN DISCRETA

Los modelos de elección discreta se plantean como modelos estocásticos donde la probabilidad de obtener una respuesta particular es una función de un conjunto de variables explicativas. Estos modelos se basan en la teoría de la utilidad aleatoria. La hipótesis implícita que se debe tener en cuenta es que se deben tener datos cruzados de las preferencias mostradas. (García, 2006).

Dentro de la variedad de formas funcionales que se pueden proponer para la explicación de una elección discreta, las más conocidas son: el modelo multinomial y el modelo logit jerárquico. La que se utiliza generalmente es la del modelo logit multinomial. Este modelo plantea que la probabilidad de escoger un modo particular de transporte es proporcional al exponencial de la utilidad de dicho modo comparado con los demás disponibles.

Consideraciones generales

Los modelos de transporte de demanda agregada de primera generación, o están basados en relaciones observadas para grupos de viajeros, o en relaciones medias a un nivel zonal. Por otro lado, los modelos de demanda desagregada (de segunda generación), se basan en las elecciones observadas que realizan los viajeros de modo individual. Los modelos de segunda generación no se empezaron a utilizar en serio hasta los años 80. (García, 2006).

De modo general, los modelos de elección discreta se basan en que:

“ La probabilidad de que los individuos elijan una opción dada es una función de sus características socioeconómicas y de la atraktividad relativa de esta opción. ”

Para representar la atraktividad de las alternativas se utiliza el concepto de **utilidad**, que es una estructura teórica, definida de modo lógico como lo que los individuos buscan maximizar. La utilidad observable se define como una combinación lineal de las variables, por ejemplo:

$$V_{car} = 0,25 - 1,2 IVT - 2,5 ACC - 0,3 C/I + 1,1 NCAR \quad (3)$$



Donde V_{car} es la utilidad observable de un individuo al usar auto y cada variable representa un atributo de la opción del viajero. La influencia relativa de cada atributo, en términos de la contribución a la satisfacción general producida por la alternativa, viene dada por sus coeficientes. Por ejemplo un cambio en una unidad en el tiempo de acceso (ACC) en la función, tiene aproximadamente el doble de impacto de una unidad de cambio en el tiempo de viaje en vehículo (IVT) y más de 7 veces el impacto del cambio en una unidad en la variable costo/ingreso (C/I). Las variables pueden representar características de los individuos; por ejemplo, es más probable que un individuo perteneciente a un hogar con un gran número de automóviles (NCAR), elija la opción de vehículo particular, respecto de otro individuo con un único vehículo en su hogar. La constante específica 0,25 de la alternativa en la función, se interpreta como la influencia global de todas las características no observadas o no incluidas explícitamente, del individuo u opción en su función de utilidad. Por ejemplo, esta constante, también llamada constante modal, podría incluir elementos como el confort y comodidad, que no son fáciles de medir. (García, 2006).

Para predecir si se elegirá una alternativa, de acuerdo al modelo, se debe contrastar el valor de su utilidad con aquellas opciones alternativas y transformar los valores en un valor de probabilidad, entre 0 y 1. Para lo cual hay una gran variedad de transformaciones matemáticas que se caracterizan por tener la distribución gráfica de su distribución una forma de S. Las principales son las transformaciones logit y probit.

Los modelos de elección discreta no se pueden calibrar, en general, utilizando técnicas de ajuste de curvas, como la de mínimos cuadrados, debido a que su variable dependiente P_i , es una probabilidad no observada (entre 0 y 1) y las observaciones son las opciones de los individuos (son discretas y representadas por 0 ó 1). La excepción serían los modelos formados por grupos de individuos, o cuando el comportamiento de cada individuo se repite en varias ocasiones, puesto que las frecuencias de la elección son variables entre 0 y 1.

Algunas propiedades útiles de estos modelos son:

- Los modelos de demanda desagregada (Disaggregate Models - DM), se basan en teorías del comportamiento del individuo. Por tanto, como un intento de explicar el comportamiento del individuo, una ventaja potencial importante sobre los modelos convencionales es que es más probable que los modelos DM sean estables en tiempo y espacio.

Los modelos DM se estiman utilizando datos de individuos y tienen las siguientes propiedades:



- Pueden ser más eficientes que los modelos convencionales en términos del uso de la información; se requiere un menor número de datos para la elección de cada individuo utilizado como una observación. En cambio, en el modelo agregado, una observación es la media de, a veces, cientos de observaciones de individuos.
- Como datos de individuos se puede utilizar toda la variabilidad intrínseca de la información.
- Los modelos DM se pueden aplicar, en principio, a cada nivel de agregación.
- Son los que menos les afecten sesgos debido a la correlación entre unidades agregadas. Cuando se agrega la información hay que considerar que el comportamiento del individuo podría explicarse a través de características no identificadas asociadas a las zonas.

Los modelos desagregados son probabilísticos, aplican la probabilidad de elegir cada alternativa y no indican cual se selecciona. (García, 2006).

Las variables explicativas incluidas en el modelo pueden haber estimado explícitamente los coeficientes. En principio, la función de utilidad permite cualquier número y especificación de las variables explicativas, como oposición al caso de la función de costo generalizado en modelos convencionales, que generalmente está limitado y tiene varios parámetros fijados. Esto tiene implicaciones como las siguientes:

- Los modelos DM permiten una representación más flexible de las variables consideradas relevantes para el estudio.
- Los coeficientes de las variables explicativas tienen una interpretación de la utilidad marginal directa (reflejan la importancia relativa de cada atributo).

2.3.1 La teoría de la utilidad aleatoria

La teoría de la utilidad aleatoria postula que:

- Los individuos pertenecen a cierta población homogénea Q , actúan en forma racional y tienen información perfecta.
- Existe un conjunto $A = \{A_1, \dots, A_i, \dots, A_j\}$ de alternativas disponibles¹ y un conjunto X de vectores, que incluyen las características de los individuos y de las alternativas. Así el

¹ El conjunto de alternativas debe cumplir tres características: las alternativas deben ser *mutuamente excluyentes* desde la perspectiva del tomador de decisiones, elegir una alternativa implica necesariamente no elegir ninguna de las otras. El conjunto debe ser *exhaustivo*, que todas las alternativas posibles sean incluidas, el individuo debe optar



conjunto de alternativas disponibles para un individuo q en particular es $A(q)^k$ y va a tener asociado un conjunto de atributos $x \in X$.

- Cada alternativa $A_i \in A$ tiene asociada una utilidad U_{iq} para el individuo q . El modelador, al ser un observador, no posee información completa de todos los factores considerados por los individuos al realizar su elección; por tanto, supone que esta utilidad se puede representar por dos componentes:

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

los parámetros $V_{iq} = \sum_{k=1}^K \theta_{ikq} X_{ikq}$, donde X_{ikq} representa el valor del atributo k de la

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

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

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad (4)$$

El individuo q escoge la alternativa de máxima utilidad, esto es, escoge A_i si y sólo si se cumple:

$$U_{iq} \geq U_{jq} \quad \forall A_j \in A(q) \quad (5)$$

Expresado en las componentes,

$$V_{iq} - V_{jq} \geq \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq} \quad \forall A_j \in A(q) \quad (6)$$

por alguna. Y por último el número de alternativas debe ser finito, en caso contrario no se pueden aplicar modelos de elección discreta.

² Se supondrá que el conjunto de alternativas disponibles, para cada individuo ya incorpora el efecto de sus restricciones.



Como no se conoce $\varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq}$, no es posible determinar si se cumple la relación anterior, por lo tanto se asignan probabilidades. Así la probabilidad de que el individuo q escoja la alternativa i es:

$$P_{iq} = \Pr ob \left\{ \varepsilon_{jq} \leq \varepsilon_{iq} + (V_{iq} - V_{jq}), \forall A_j \in A(q) \right\} \quad (7)$$

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

$$P_{iq} = \int_{\varepsilon_{iq}=-\infty}^{\infty} \int_{\varepsilon_{1q}=-\infty}^{V_{iq}-V_{1q}+\varepsilon_{iq}} \dots \int_{\varepsilon_{Nq}=-\infty}^{V_{iq}-V_{Nq}+\varepsilon_{iq}} f(\varepsilon_{1q}, \varepsilon_{2q}, \dots, \varepsilon_{Nq}) d\varepsilon_{1q} \dots d\varepsilon_{Nq} \quad (8)$$

Por lo tanto la probabilidad de elección es una integral multidimensional sobre la densidad de la porción no observada de la utilidad. Diferentes modelos son obtenidos dependiendo de los supuestos sobre la distribución de los ε .

2.3.1.1 Modelo Logit Multinomial (MNL)³

Se obtiene a partir de suponer que los términos de error siguen una distribución IID (independiente e idénticamente distribuidos) Gumbel⁴, con media cero y varianza σ^2 . Esto quiere decir que los términos no están correlacionados y poseen la misma varianza tanto a nivel de alternativas como Individuos. La probabilidad de elección de la alternativa j (A_j) por el individuo q ; está dada por:

$$P_{jq} = \frac{e^{\lambda V_{jq}}}{\sum_{A_i \in A_q} e^{\lambda V_{iq}}} \quad (9)$$

Se determina para las variables explicativas, aquellas genéricas y específicas; y además para las constantes específicas, las cuales se colocan en $n - 1$ alternativas ya que no pueden estimarse separadamente sino únicamente su diferencia. Dado que el nivel absoluto de utilidad no importa, añadir una constante a cada alternativa es posible sin modificar el ranking entre ellas (Cardona, 2008).

³ MULTINOMIAL significa que expresa la elección de una alternativa perteneciente a un conjunto de múltiples alternativas. BINOMIAL indica que solamente existen dos alternativas.

⁴ También conocida como Valor Extremo, Valor Extremo Tipo I o Weibull.



Limitaciones del Modelo MNL

- No permite tratar correlaciones entre alternativas, debido a la estructura de error que supone. Es posible mejorar esta situación parcialmente con la utilización del modelo tipo Logit Jerárquico (HL).
- No observa variaciones en los gustos; ya que asigna a todos los individuos los mismos parámetros θ . Además trata cada observación realizada sobre el mismo individuo, como si fueran distintos individuos.
- No trata la heteroscedasticidad: Este aspecto se puede presentar para las observaciones y para las alternativas. El primer caso, cuando existen diferentes fuentes de datos tales como Preferencias Reveladas y Preferencias Declaradas; cuando existen individuos con diferente precisión en los atributos; o cuando se tienen varias observaciones para el mismo individuo. Para las alternativas se da con la percepción precisa de los atributos de la opción elegida, y alternativas con atributos intrínsecamente más variables.

Estimación de un Modelo MNL

La probabilidad de que la alternativa, en este caso el modo i ; sea elegida por el individuo q ; entre todas las alternativas disponibles j ; está dada por:

$$P_{iq} = \frac{e^{\beta \sum_k \theta_k X_{ikq}}}{\sum_j e^{\beta \sum_k \theta_k X_{jq}}} \quad (10)$$

Los parámetros β y θ se requieren para la determinación de esta probabilidad, pero no son conocidos; por tanto con el Método de Máxima Verosimilitud se estiman aquellos valores para los parámetros que mas se ajusten a las observaciones realizadas; es decir, los mas verosímiles.

$$\beta = \frac{\Pi}{\sqrt{6}\sigma}$$

Dado que se supone para todos los efectos prácticos como $\beta = 1$.

La estimación del modelo consiste en encontrar los coeficientes θ_k que generan más a menudo la muestra observada; es decir los más verosímiles, que son aquellos que maximizan la probabilidad de que ocurra un suceso observado.



Elasticidades de un Modelo MNL

Es posible demostrar que las elasticidades directa y cruzada se pueden combinar en las siguientes fórmulas:

$$E_{X_{j|k}}^{P_{iq}} = \theta_{jk} \cdot X_{jkq} \cdot (\delta_{ij} - P_{jq}) \quad (11)$$

Con
$$\delta = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j \\ 0 & \text{si } i \neq j \end{cases}$$

La elasticidad directa tiende a cero cuando P_{iq} tiende a uno, y se aproxima a $\theta * X$ cuando P_{iq} tiende a cero. La elasticidad cruzada tiene comportamiento contrario (Ortúzar 2000).

2.3.1.2 Modelo Logit Jerárquico (HL)

En lugar de considerar las alternativas en el mismo nivel y sin ninguna correlación entre ellas; su estructura se caracteriza por agrupar, en jerarquías o nidos, a todos los subconjuntos de opciones correlacionados o mas similares entre si. Cada rama es representada por una alternativa compuesta, como se observa en la figura 3 (Cardona, 2008).

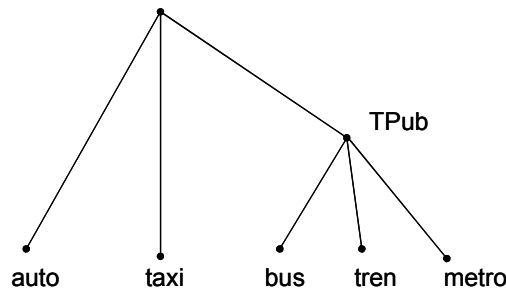


Figura 3. Estructura de un Modelo Logit Jerárquico (HL)

Si i se encuentra en un nivel de jerarquía mayor que j ; es decir, si la alternativa j se elige después de optar por la alternativa i ; se tiene que la probabilidad de elección de la alternativa j está dada por la siguiente expresión:

$$P_{ij} = P_i * P_{j/i} \quad (12)$$



Con: y

$$P_i = \frac{e^{\beta V_i}}{\sum_{A_j \in \underline{A}^S(q)} e^{\beta V_j}} \qquad P_{j/i} = \frac{e^{\lambda_i V_{j/i}}}{\sum_{A_k \in \underline{A}^I(q)} e^{\lambda_i V_{k/i}}}$$

Donde:

- V_i: Utilidad sistemática de la alternativa i
- V_j: Utilidad sistemática de la alternativa j al interior del nido i
- β, λ Factores de escala del nivel superior y del nido i respectivamente

Se requiere que $\beta \leq \lambda$ para que el modelo HL sea internamente consistente.

Si $\beta = \lambda$ el modelo HL colapsa al MNL, dado que no existiría dependencia entre las alternativas del nido inferior.

La utilidad de la alternativa compuesta o de los niveles superiores, está comprendida por dos partes: la primera considera los atributos comunes a todas las alternativas del nido, y la segunda considera como variable la Utilidad Máxima Esperada (EMU) entre los valores del nido:

$$\beta V_i = \beta (\theta X_i) + \phi_i \log \sum_{A_k \in \underline{A}^I(q)} e^{\lambda_i V_{k/i}} \qquad (13)$$

Donde:

- X_i: Elementos comunes a las alternativas en el nido
 - θ: Parámetro a estimar. Común a las alternativas del nido.
 - φ_i: Parámetro igual a β / λ . Debe satisfacer la condición $0 < \phi_i \leq 1$
- Si ϕ_i es igual a uno, el HL colapsa a MNL.

$$\log \sum_{A_k \in \underline{A}^I(q)} e^{\lambda_i V_{k/i}} \text{ Utilidad máxima esperada (EMU)}$$

Los parámetros a estimar son θ y ϕ para cada uno de los nidos; repitiendo el procedimiento hasta estimar la totalidad de los parámetros del modelo en todos ellos.



De la misma forma que en el MNL se consideraba $\beta = 1$, sin perder la generalidad de la función; y se calculaban únicamente los parámetros θ ; para el caso del HL no es posible estimar β y λ en forma separada, y por ende se supone nuevamente $\beta = 1$.

Así, $\frac{1}{\lambda} = \phi$ y la restricción es $\phi \leq 1$ dado que $\beta \leq \lambda$.

Cuando existe más de un nivel jerárquico debe cumplirse que $0 < \phi_1 \leq \phi_2 \leq \phi_3 \leq 1$, dada la distribución de jerarquías mostrada en la figura 4:

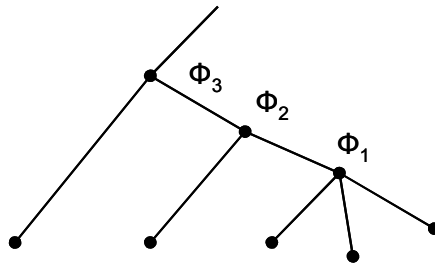
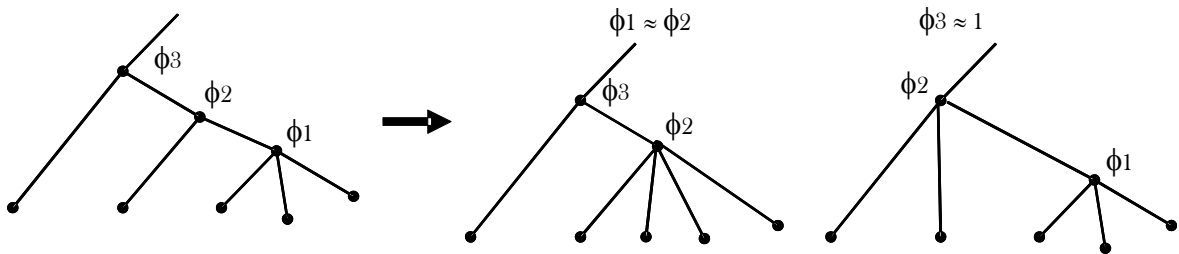


Figura 4. Estructura de un Modelo Logit Jerárquico con más de un nivel jerárquico (HL)

En caso de que los coeficientes ϕ sean similares conviene, según el caso, colapsar el nido (ver figura 5).



Fuente: Cardona, N. 2008

Figura 5. Estructuras de Modelo Logit Jerárquico (HL) con nidos colapsados

Limitaciones del Modelo HL

- Sólo consideran tantas interdependencias entre opciones como nidos se haya especificado (no permite tratar correlación cruzada, es decir entre alternativas de distintos nidos).
- No permite variaciones en los gustos de los individuos ni funciones de utilidad heterocedásticas.



- La búsqueda del mejor HL implica el análisis tentativo de múltiples estructuras jerárquicas.
- La calibración secuencial tiene problemas pero hoy es posible la estimación simultánea (ALOGIT).

2.3.1.3 Modelo Probit Multinomial

El MNL está limitado en tres aspectos importantes, no puede representar variación aleatoria en los gustos, posee un patrón de sustitución restrictivo debido a la propiedad de IAI, y no puede emplearse cuando existen factores no observados correlacionados en el tiempo⁵ para cada individuo. Los modelos GEV relajan la restricción con respecto a los patrones de sustitución, pero no las otras dos (Córdoba, 2007).

El modelo Probit Multinomial (MNP) permite considerar variaciones aleatorias de los gustos, permite cualquier patrón de sustitución, y es aplicable a paneles de datos con errores correlacionados en el tiempo. El MNP se obtiene al suponer que los residuos estocásticos siguen una distribución Normal Multivariada con media cero y matriz de covarianza arbitraria; es decir, en este caso las varianzas pueden ser diferentes y los términos de error pueden estar correlacionados de cualquier forma. La probabilidad de que un individuo q escoja la alternativa i entre un conjunto de J alternativas disponibles, está dada por:

$$\begin{aligned}
 P_{iq} &= \text{Prob} \left\{ \varepsilon_{jq} \leq \varepsilon_{iq} + (V_{iq} - V_{jq}), \forall A_j \in A(q) \right\} \\
 &= \int_{-\infty}^{(V_{iq}-V_{1q})+\varepsilon_{iq}} \int_{-\infty}^{(V_{iq}-V_{2q})+\varepsilon_{iq}} \dots \int_{-\infty}^{(V_{iq}-V_{jq})+\varepsilon_{iq}} N(\varepsilon_q, \Omega) d\varepsilon_q
 \end{aligned} \tag{14}$$

Donde $N(\varepsilon_q, \Omega)$ corresponde a la función densidad normal multivariada con media cero y matriz de covarianza Ω , esto es:

$$N(\varepsilon_q, \Omega) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{J}{2}} |\Omega|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2} \varepsilon_q' \Omega^{-1} \varepsilon_q} \tag{15}$$

La expresión de probabilidades del MNP no tiene una forma cerrada sino que corresponde a una integral J dimensional; por tanto para resolverla numéricamente se utiliza alguna aproximación. Variados procedimientos han sido utilizados y pueden ser efectivos en ciertas circunstancias. El método de cuadratura aproxima la integral por una función ponderada evaluada en puntos especialmente seleccionados. Este método funciona cuando la dimensión

⁵ O situaciones de elección.



de la integral es pequeña (no más de cinco alternativas o términos de error), pero no es aplicable a altas dimensiones.

Otro procedimiento que ha sido sugerido es la aproximación de Clark. Este algoritmo aprovecha la propuesta de Clark (1961) que el máximo de un grupo de variables normalmente distribuidas puede aproximarse por otra variable normalmente distribuida. La aproximación resulta muy inexacta en algunas situaciones⁶, como fue mostrado por Horowitz *et al* (1982), siendo difícil asegurar algún grado de precisión en los valores obtenidos.

Frente a estas dificultades, la simulación resulta una herramienta muy poderosa para aproximar las probabilidades probit. Se han propuesto numerosos simuladores para las probabilidades del MNP. Estos simuladores obtienen valores de una distribución de dimensión $(J-1)$ de las diferencias de utilidad⁷. El más utilizado es conocido como GHK⁸.

2.3.1.4 Modelo Logit Mixto (ML)

Los Modelos Logit Mixto (ML) son funciones altamente flexibles que pueden aproximar cualquier modelo de utilidad aleatoria; al igual que el MNP resuelven las tres limitaciones del logit estándar. A diferencia del Probit no están restringidos a distribuciones normales, su derivación es directa, y la simulación de sus probabilidades de elección resulta computacionalmente más simple que en el caso del MNP (Córdoba, 2007).

Las primeras aplicaciones del ML a datos a nivel individual incluyeron sólo una o dos dimensiones de integración que debieron ser calculadas con cuadratura. Mejoras en la velocidad de los computadores y en la comprensión de los métodos de simulación han permitido en los últimos años utilizar mejor las capacidades del modelo. Un ML es cualquier modelo cuyas probabilidades de elección puedan expresarse de la forma:

$$P_{iq}(b, W) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} L_{iq}(\eta) f(\eta / b, W) d\eta \quad (16)$$

Donde $L_{iq}(\eta)$ es la probabilidad logit evaluada en el parámetro η , $f(\eta / b, W)$ es su función densidad de probabilidad también llamada distribución de mezcla.

La probabilidad ML es el promedio ponderado de la fórmula logit evaluada en diferentes valores de η , con los pesos dados por la densidad $f(\eta / b, W)$.

⁶ Si dos variables tienen medias muy similares y varianzas diferentes, o si el coeficiente de correlación es negativo, el método falla. En general sólo funciona cuando se puede aplicar el MNL, por lo que ya no se emplea.

⁷ J número de alternativas.

⁸ Debido a J. Geweke, V.A. Hajivassiliou, y M. Keane quienes desarrollaron el procedimiento.



Las probabilidades no tienen la propiedad de IAI, y se pueden conseguir diferentes patrones de sustitución y tipos de correlación con especificaciones apropiadas de $f(\eta/b, W)$; sin embargo, al igual que en el caso del MNP, se requieren métodos aproximados para su estimación.

2.3.1.5 Modelación del reparto modal con datos mixtos

Ortúzar (2000) en su texto *Modelos Económicos de Elección Discreta* aborda el problema de la modelación del reparto modal a partir de Datos Mixtos, es decir, datos PR y PD y es a partir del allí que se adopta esta metodología. Como ya se mencionó, tanto los datos de P.R. como los de P.D. tienen limitaciones. Con el objeto de aprovechar las ventajas de ambas fuentes de datos, y al mismo tiempo solventar las dificultades que ellas presentan, recientemente se ha planteado la estimación de modelos utilizando datos de P.R. y P.D. de manera conjunta; los cuales han sido llamados Estimación Mixta.

La principal dificultad de esta metodología, es la existencia de distintos tipos de error en los datos. Es decir, para las P.R. los errores se presentan en la medición de las variables independientes; mientras que en las P.D. es posible encontrar errores en la variable dependiente debido a los sesgos entre lo que declaran y lo que realmente realizan los individuos (Cardona, 2008).

2.3.1.5.1 Estimación y predicción

Se retoma el concepto de utilidad aleatoria, tal como sigue:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad \text{donde} \quad V_{jq} = \sum_k \theta_{jk} X_{jkq} \quad (18)$$

Dado que el modelador no conoce la componente aleatoria (el término error) en las funciones anteriores, la preferencia para determinada alternativa A_i debe expresarse en términos probabilísticos. Para esta estimación los modelos mas utilizados son los tipo Logit (Multinomial y Jerárquico) ya mencionados.

En el tema de la Modelación existen dos escenarios, *estimación y predicción*. El primero busca el valor de los coeficientes θ_k que representan más fielmente las elecciones observadas en los individuos. La predicción, busca el valor el U_{iq} para anteceder la elección que el usuario realizaría en un escenario futuro. En ambos casos existen componentes de error que no se conocen, haciendo que se deba calcular la probabilidad de elección de las alternativas.

Para las P.R. se asume que en los dos escenarios se generan errores distribuidos igualmente; pero en las P.D. esto no es razonable; ya que en este caso se encuentran sobre la variable



dependiente; de manera que no se estimaría el verdadero valor de la utilidad individual sino una pseudo - utilidad W_{iq} , la cual se relaciona con la verdadera tal como sigue:

$$U_{iq} = W_{iq} + \eta_{iq} \quad (19)$$

η_{iq} = error asociado a la variable dependiente

Relacionándose con la función anterior, se obtiene:

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} = W_{iq} + \eta_{iq} \quad (20)$$

Existiendo un parámetro de dispersión que depende de la varianza del término de error, *no es correcto asumir la misma distribución de los errores para los escenarios de estimación y predicción en el caso de P.D.*

Una manera de solucionar esto es ajustar los datos de P.D. a la realidad observada en los casos en que sea posible; aprovechando las ventajas de P.R. y estimándolos de manera conjunta. En este sentido fue desarrollada por Ben - Akiva y Morikawa (1990) una estructura que generalizando el enfoque de escalamiento del Logit (ver Ortúzar, 2000); postula que la diferencia entre los errores de P.R. y P.D. es un distinto nivel de ruido representado por las varianzas de ambos términos de error ε y η , tal como sigue:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = \mu^2 \sigma_{\eta}^2 \quad (21)$$

Siendo μ un parámetro desconocido.

De esta manera, la información se puede dividir en dos grupos: primarios (PR) y secundarios (PD), generando una nube de puntos entre los datos PR - PD, donde el factor de escala será la pendiente de la regresión en el origen entre los datos, esto se representa en la figura 5.

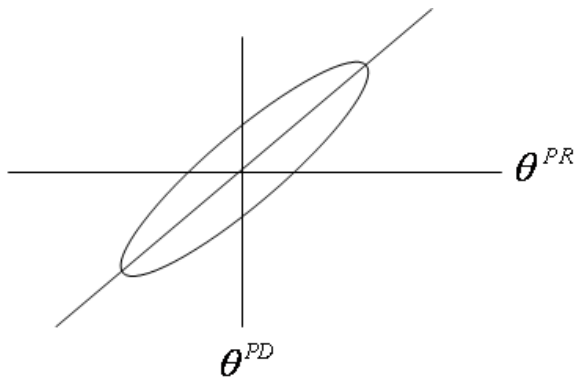


Figura 5. Gráfico con los parámetros de los modelos de PR y PD



θ^{PD} : Coeficientes de los atributos en el modelo de Preferencias Declaradas

θ^{PR} : Coeficientes de los atributos en el modelo de Preferencias Reveladas

Se generan entonces las siguientes funciones de utilidad para A_i dependiendo del tipo de datos que se utilice para su estimación:

$$\begin{aligned} U_i^{PR} &= \theta X_i^{PR} + \alpha Y_i^{PR} + \varepsilon_i \\ \mu U_i^{PD} &= \mu (\theta X_i^{PD} + \beta Z_i^{PD} + \eta_i) \end{aligned} \quad (22)$$

α , β y θ : coeficientes a estimar

X^{PR} y X^{PD} : atributos de las alternativas e individuos en P.R. y P.D. respectivamente.

Y_i^{PR} Z_i^{PD} : atributos que sólo están presentes en P.R. o P.D. respectivamente.

Al considerar la función de utilidad de esta manera, se homogeniza el tipo de error; es decir se logra que el error estocástico asociado tenga la misma varianza. De esta manera, las probabilidades de elección equivalentes están dadas por:

$$P_i^{PR} = \frac{e^{(\theta X_i^{PR} + \alpha Y_i^{PR})}}{\sum_j e^{(\theta X_j^{PR} + \alpha Y_j^{PR})}} \quad (23)$$

$$P_i^{PD} = \frac{e^{\mu(\theta X_i^{PD} + \beta Z_i^{PD})}}{\sum_j e^{\mu(\theta X_j^{PD} + \beta Z_j^{PD})}} \quad (24)$$

De estas expresiones se deriva la función de máxima verosimilitud conjunta que debe ser maximizada para encontrar los estimadores de los parámetros. Esta función es no lineal ya que μ pondera tanto a los coeficientes como a los atributos en P.D. Para la solución de la función se han propuesto al menos dos técnicas que utilizan modelación estándar de elección discreta; la Estimación Simultánea mediante HL (Bradley y Daly, 1997) y la Estimación Secuencial (Ben - Akiva y Morikawa, 1990).



2.3.1.5.1.1 Estimación Simultánea:

En la estimación del modelo P.R. se deben identificar α y θ ; en cambio en el modelo P.D. se requiere identificar $\mu\theta$ y $\mu\beta$, siendo esto último no lineal. Esto se puede resolver a través de un modelo HL con estructura de árbol artificial, el cual se presenta en la figura 6:

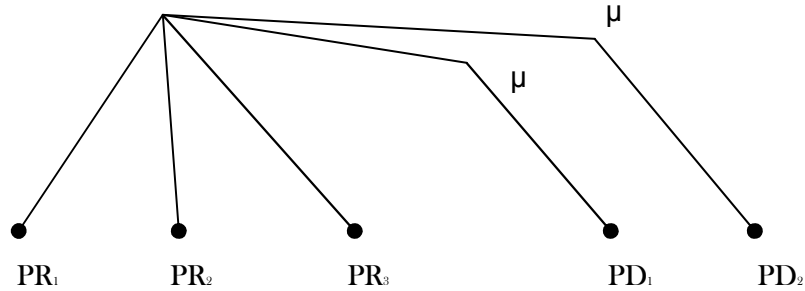


Figura 6. Grafico de estimación con datos mixtos

De acuerdo a esta estructura, para las alternativas PR las opciones PD no están disponibles, modelándose como un MNL. En el caso de las PD, las alternativas PR no se encuentran disponibles y se modela como un HL, tomando cada una de las opciones PD en un nido individual.

De esta manera, para cada alternativa compuesta la utilidad media está dada por:

$$V^{COMP} = \mu \log \sum e^{V_{pd}} \quad (24)$$

Dado que cada nido contiene solamente una alternativa, y reemplazando la porción sistemática o determinística de la función de utilidad; se encuentra que:

$$V^{COMP} = \mu V^{PD} = \mu \theta X^{PD} + \mu \beta Z \quad (25)$$

Esta expresión es la requerida para resolver el modelo de acuerdo a la estructura con datos mixtos presentada anteriormente.

2.3.1.5.1.2 Estimación Secuencial:

Con este método se pueden utilizar programas estándar de estimación para distintos tipos de modelo; como Logit, Probit, etc.

- Se estima el modelo de P.D. de acuerdo a la función de utilidad y se obtienen $\mu\theta$ y $\mu\beta$; con los cuales se define una nueva variable:

$$V_i^{PR} = \mu \theta X_i^{PR} \quad (26)$$

- Se estima el modelo de P.R. incluyendo la nueva variable para obtener λ y α ; con $\lambda = 1/\mu$

$$U_i^{PR} = \lambda V_i^{PR} + \alpha Y_i^{PR} + \varepsilon_i \quad (27)$$



- Se pondera X^{PD} y Z^{PD} por μ y se obtiene un conjunto de datos secundario modificado (P.D.), el cual tiene el mismo tipo de error aleatorio que los datos primarios (P.R.); de manera que es posible fusionar los conjuntos para estimar los coeficientes en forma simultánea.

Se han aplicado ambos métodos al mismo conjunto de datos obteniendo prácticamente iguales resultados; por lo que Ortúzar y Garrido (1993) recomiendan el enfoque simultáneo, ya que es más fácil de implementar.

2.3.1.5.2 Test Estadísticos utilizados en la elección de los modelos

Para evaluar la calidad de los modelos calibrados, es necesario realizar algunos test que permitan concluir cual es el mejor modelo.

2.3.1.5.2.1 Test t:

Se realiza el test de hipótesis t, para determinar si las constantes específicas son significativamente distintas de 0 ya sea a un 90% o un 95% de confianza dependiendo del “t” obtenido. Este “t” es igual a:

$$t = \frac{\hat{\theta}}{\sigma} \quad (28)$$

Si t_c es el valor crítico de t (un valor típico de $t_{crit} = 1,96$) y si $t > t_c$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 , la cual afirma que las constantes específicas son iguales a cero.

2.3.1.5.2.2 Test de Razón de Verosimilitud:

Sirve para comparar dos modelos en que uno es una restricción lineal del otro. En este test, la hipótesis nula planteada H_0 , es si el modelo restringido no presenta resultados estadísticamente distintos que el no restringido.

$$LR = -2 * (l(\theta)_{restringido} - l(\theta)) > \chi^2_{r;95\%} \quad (29)$$

donde $l(\theta)$ es una función de log-verosimilitud en convergencia de las restricciones del modelo. Dado ‘r’ que es el número de restricciones lineales, se rechaza la hipótesis nula, es decir, el modelo restringido es erróneo.

2.3.1.5.2.3 Test LR para modelos mixtos:

Este test sirve para comparar modelos mixtos frente a modelos simples, de PR o de PD:

$$LR = -2 \{ l^*(\theta^{PR}, \alpha) + l^*(\theta^{PD}, \beta) - l^*(\theta, \alpha, \beta, \mu) \} \quad (30)$$



Si los k parámetros comunes son iguales, LR distribuye χ_k^2 . Si se rechaza el test se puede comprobar si ello se debe a diferencias en ciertos parámetros y si es cierto se pueden especificar de forma diferente.

2.3.1.5.2.4 Índice ρ^2 corregido:

Ya que no es posible tener un índice R^2 para modelos de elección discreta, es de gran interés contar con algún índice de bondad de ajuste. De esta forma, se presenta el test ρ^2 corregido, cuyo intervalo se encuentra entre 0 y 1. Se considera que para $\rho^2 = 0$ no hay ajuste y por el contrario, cuando toma valor 1 se considera que el ajuste es perfecto.

Este índice viene dado por la formulación:

$$\rho^2 = 1 - \frac{l_1^*(\theta) + l_2^*(\theta) + \dots + l_s^*(\theta)}{l_1^*(C) + l_2^*(C) + \dots + l_s^*(C)} \quad (31)$$

Donde $l_i(\theta)$ es función de log-verosimilitud para todos los niveles del modelo. Este estadígrafo corresponde a un ajuste sencillo, es comparable para distintas muestras y está relacionado con la distribución χ^2 .



3 MOVILIDAD EN CAMPOS UNIVERSITARIOS

3.1 ESTADO DEL ARTE PARA CAMPUS UNIVERSITARIOS

Como ya se ha expuesto el problema de 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 educativo entre otros, y en este último, en particular a los campus universitarios, que por lo general albergan una cantidad significativa de personas y que por lo tanto son tanto generadoras como atractoras igualmente de una porción importante de viajes en una comunidad, deberían ser uno de los puntos de interés de estudio dentro de toda la problemática.

En algunos casos, los campus universitarios están ubicados en las afueras de la ciudad pero aún integran el sistema de ciudad metropolitana como es el caso de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), campus de Bellaterra (*Miralles, C.; Avellaneda, P.G y Cebollada, 2003*). Esta universidad es un centro importante de atracción de viajes ya que hasta ella llegan diariamente alrededor de 35.000 personas. El problema de la movilidad de la comunidad universitaria en este caso es estudiado en el marco de las políticas existentes en la ciudad y sobre todo basándose en la infraestructura y recursos disponibles de estudiantes y docentes. La movilidad es vista desde tres dimensiones: La territorial, la social y la medioambiental pues “...la organización de un territorio condiciona enormemente la cantidad y el tipo de desplazamientos que se realizarán en este espacio”. El problema de la movilidad en la UAB fue abordado tomando en cuenta además la oferta de transporte en la misma desde la ciudad central. Este campus tiene una enorme afluencia de vehículos privados y esto se debe principalmente a que hay una falta de medidas disuasivas de su uso y en cambio hay una enorme disponibilidad de parqueaderos sin cobro, es de anotar que existes varias rutas de



transporte público que llegan hasta el campus pero éstas representan largos tiempos de recorrido, trasbordos, complejidad de las rutas y tiempos de espera, lo que las hace poco competitivas respecto del vehículo privado, siendo este otra razón para que éste sea un modo muy usado por la comunidad universitaria de este campus. Toda esta situación exige pensar cambios en el modo de controlar el uso de los vehículos en el campus de Bellaterra, pero la solución debe plantearse no buscando satisfacer la demanda sino de “gestionarla con criterios de sostenibilidad ambiental y social”.

En Bilbao, España también se ha estudiado la forma en la que el sector educativo, sobre todo el universitario, hace parte muy importante del problema de la movilidad en una ciudad (*Bilbao, J. y Fernández, 2004*). Para este caso se 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. Este estudio buscó disminuir la congestión y la polución. Primero hizo un estudio de elasticidades en las tarifas y en segundo lugar planteó la posibilidad de alejar a los usuarios del uso del vehículo privado y conducirlos hacia el servicio público colectivo buscando para ello estimular este último y apoyarse en políticas públicas que permitan disminuir el uso del primero.

En este estudio desarrollado por la Universidad del País Vasco, el modelo utilizado fue un modelo Logit jerárquico. Primero se hizo una división para la elección del modo entre Transporte Público y Transporte Privado y luego si la elección fue transporte público, elegía entre subterráneo, tren o bus y si la elección fue transporte privado debía elegir entre conductor o pasajero.

Para llevar a cabo el estudio, en el que se realizaron 1780 encuestas a estudiantes que viajan diariamente a la universidad, era necesario tener en cuenta también variables socio-económicas como el grupo social, pues esto permitiría que los resultados fueran interpretados de manera más cercana a la realidad. Este estudio permitió determinar el comportamiento de los usuarios frente a factores como el precio, el tiempo de viaje y la frecuencia de los modos, aspectos todos, que influyen seriamente en el momento de decidir políticas públicas respecto del transporte público colectivo y que pueden ayudar a disminuir el uso del vehículo privado. La elasticidad en los precios es muy alta para el Bus y sobre todo en los estratos medios y bajos, de otro lado la elasticidad en la frecuencia es más alta en el modo de trenes y subterráneos sobre todo en los estratos medios y bajos y la elasticidad en la calidad es definitivamente más importante que la del precio para esos modos de transporte. Pero para la población de interés en este estudio, los estudiantes, la mayoría de las veces los padres son



quienes pagan los tiquetes de manera que este factor no influye tanto en la elección del modo de transporte de los jóvenes, los tiempos de viaje urbanos normalmente no son largos en la ciudad, de modo que la frecuencia es realmente más tenida en cuenta por los estudiantes sin distinción de clase social, en el momento de decidir el modo. Esto deja clara la importancia de mejorar las frecuencias como medida para capturar nuevos usuarios de transporte colectivo.

3.2 ANTECEDENTES DE OTRAS UNIVERSIDADES LOCALES

Estado actual de algunas universidades de la ciudad

El problema de la congestión al ingreso de las Universidades en la Ciudad de Medellín es un problema del que no puede estar ajena la comunidad tanto universitaria como la de planeación de la ciudad. Para nadie es un secreto las largas filas que se presentan al ingresar a los principales campus universitarios de la Ciudad.

"A veces pregunto si soy el rector de una universidad o si soy el administrador de un parqueadero en el que se dictan clases", fue uno de los comentarios del Dr. Juan Luís Mejía Arango, rector de la Universidad Eafit Medellín, donde circulan al día cerca de 3.000 vehículos. (Vélez, 2007)

Las universidades en general han tratado de tomar sus propias medidas para mitigar un poco el problema de accesos del vehículo particular y del espacio disponible para parqueo. Según el rector de la universidad Eafit hay varios factores a considerar: el aumento de estudiantes de posgrado (2.500) la mayoría de los cuales se movilizan en vehículo particular porque en su mayoría trabajan; el uso indebido del parqueadero por parte de personas ajenas a la universidad y la dependencia del carro por parte de algunos alumnos de pregrado. Algo similar sucede en la Universidad Pontificia Bolivariana - UPB. Allí, según Carlos Builes, director Administrativo, se ha tratado de crear conciencia entre los muchachos para que usen medios alternativos de transporte pero aún no dan los resultados esperados. Uno de los grandes inconvenientes es el aumento de motos que ingresan al campus de Laureles. (Vélez, 2007).

En la Universidad de Medellín al igual que en la Universidad de Antioquia se han presentado problemas de congestión y allí también se ha adoptado la medida de restricción para acceder según el último dígito de la placa, el Pico y Placa, pero el problema necesita otras estrategias.

De manera general las medidas que hasta ahora han sido adoptadas por las universidades son la aplicación del Pico y Placa en las Universidades de Antioquia, Eafit, de Medellín, Politécnico Jaime Isaza Cadavid y 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 2008 la Universidad de Antioquia, la Bolivariana y Eafit tienen restricción sólo un día por carro pero es todo el día. En la Universidad de Medellín están en un período de transición para definir como quedará la medida pero por ahora tienen restricción sólo a las horas de la ciudad, aunque en el pasado la tenían todo el día y según los funcionarios del área de planeación con la restricción sólo por periodo pico, no se ve mejoría alguna en la movilidad.

Otra medida que se aplica en 2 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. Este cobro se aplica una sola vez al día y tiene entradas ilimitadas, (en esta universidad los fondos obtenidos por este efecto están destinados a desarrollo social al interior de la universidad y es desde allí que se subsidian becas, almuerzos, entre otras ayudas para los estudiantes que cuenta con recursos más escasos), el pago se realiza en una máquina dispensadora que devuelve una tarjeta que debe hacerse sellar en la portería. En la segunda la situación varía. Allí el cobro se realiza de igual manera a todos aquellos que ingresen a la universidad y el cobro se realiza por entrada. Cada vez que entra debe pagar, el sistema de recaudo es electrónico a través del carné que tiene un dispositivo que permite recibir las recargas realizadas aunque también tienen sistema de tiquete individual. Los fondos recaudados se destinan para el mantenimiento de la infraestructura y la vigilancia. En las demás: La de Antioquia, La Universidad Nacional y la de Medellín, no se aplica ninguna tarifa.

La pregunta es, si realmente estas medidas ayudan a disminuir la congestión en los campus. ¿Se han hecho estudios? ¿Se hacen aforos? ¿Qué planes pueden plantearse para mejorar?

De alguna manera podría decirse que aún no se tiene mucho convencimiento, por lo menos no en todas partes sobre la importancia de estudios que ayuden a realizar un análisis de la situación y que permitan que las decisiones estén sustentadas como debería ser. En el caso de la Universidad de Medellín con cerca de 10000 estudiantes y alrededor de 1500 empleados, las decisiones sobre movilidad se toman sobre todo por observación (al tener filas en la entrada o retrasos en la hora de entrada de los empleados) y como una manera de apoyar las medidas de la ciudad, pero la verdad no se tiene mucho conocimiento hasta ahora de si ésta será la más adecuada. Las decisiones de movilidad son tomadas por el comité de planeación, pero aquí por ahora no hay un planteamiento fuerte respecto a este problema. Allí se han tomado medidas que de alguna manera pueden optimizar el espacio con el que se cuenta como la redistribución de los espacios de parqueaderos, se hizo una vía circunvalar que ayudara a



mejorar la circulación. En 2005 se hizo un estudio de movilidad pero no pudo aplicarse pues al muy poco tiempo se hizo una modificación al sentido de ingreso y de las porterías.

3. 1.1 Universidad Eafit

En la Universidad Eafit, con 10000 estudiantes y 2000 empleados, por su parte al inicio de la medida de Pico y Placa en la Ciudad se implementó sólo por los periodos indicados en la misma (de 6:30am a 8:30am y de 5:30pm a 7:30pm), pero se presentaba un alto ingreso de vehículos restringidos en la mañana, de manera que a la hora de entrada normal, muchas veces vehículos sin Pico y Placa no encontraban espacio, por eso se decidió poner la medida todo el día. Según el Profesor John Jairo Agudelo que realizó en el año 2007 un estudio de movilidad en esta Universidad, Eafit está permanentemente realizando conteos de celadas para verificar por periodos cuál portería es más eficiente en la entrada y con esto tratar de indicar a los conductores para disminuir las filas que se presentan a la entrada. Se tiene allí la experiencia de contar con 2 parqueaderos con capacidad de 1200 celdas. Uno está ubicado al norte de la Universidad y el otro en el extremo sur, en el estudio se verificó que muchas veces el problema era más de logística que de capacidad, por lo menos en ciertos horarios, ya que mientras el parqueadero norte estaba completamente saturado, en el Sur se tenía una ocupación de hasta el 60%. El profesor explica que el problema de Eafit, responde más a un problema zonal y que muchas veces las congestiones observadas en la entrada se deben a una falta de actualización y mantenimiento de bahías y semáforos. Esta Universidad cuenta con 7 accesos vehiculares. Es importante aclarar que hasta el año del estudio se contaba con conteos y vigilancia del personal de Servicios Generales y eran ellos junto con el rector quienes tomaban las decisiones sobre las medidas a aplicar. Eafit por ejemplo tiene varias alternativas que buscan ayudar a la movilidad, al promover el uso del transporte público. Una de estas medidas es una ruta de bus que hace anillo entre la Estación Poblado y la Estación Aguacatala del Metro, ambas aledañas a la universidad en horas de mayor afluencia.

Otra medida que se tiene adoptada desde hace varios años, incluso desde antes del Pico y Placa es contar con varias rutas escolares que se distribuyen por toda la ciudad, con una tarifa económica y que cubre la llegada en la mañana y la salida en la tarde, para servir también a empleados y profesores y una en la noche en la salida de la última franja de clases. Sin embargo el Profesor Agudelo insiste en que las medidas a aplicar deberían estar más enmarcadas en políticas a nivel de ciudad que medidas solamente de las Universidades como tener un servicio público eficiente, esto es: rápido, seguro, económico y cómodo, con una



oferta suficiente, hacer mejoras en la infraestructura con ampliación de bahías y actualización y coordinación de semáforos.

En Eafit al igual que en la Medellín se presentaba un enorme conflicto con la vecindad ya que el día de Pico y Placa, los usuarios de vehículo privado dejaban los carros parqueados en las zonas alrededor de los campus y que son además residenciales. Esta práctica sólo empezó a disminuir en ambos casos cuando el tránsito municipal empezó a retirar los vehículos de allí con grúas. Eafit se prepara para afrontar en 2009 , un cambio en el módulo horario que seguramente reflejará cambios en el comportamiento de los usuarios pero que se espera pueda programarse de manera que las congestiones en la entrada disminuyan, porque podrían hacerse a horas diferentes a las que la ciudad tiene identificadas como horas pico.

3. 1.2 Universidad Pontificia Bolivariana

La Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), (con 10500 estudiantes y 3500 empleados, 2008) igualmente enfrenta una congestión vehicular visible. En la actualidad, según Carlos Builes, director Administrativo desde 2006, la capacidad de parqueaderos de la Universidad está al tope en sus 860 celdas disponibles y el fenómeno que se observa es el uso de espacios prohibidos como una práctica que se ha vuelto cada día más frecuente. Builes comenta que por ahora la Universidad ha sido flexible con esta situación, pero en todo caso la idea que se tiene en UPB, es que ésta sea una universidad para los peatones más que para los vehículos, así que en el momento que haya que tomar medidas más restrictivas se tomarán. Hasta ahora en esta universidad las medidas siempre han sido instaladas por el comité de planeación que se rige de acuerdo a las directrices del Plan Maestro de la Universidad, este comité está integrado por el rector y hay un componente importante técnico que hasta ahora ha sido el Decano de la Facultad de Arquitectura y Diseño quien desde su conocimiento siempre ha intentado enmarcar las medidas de la manera más lógica, ahora la parte técnica estará a cargo del director de Planeación. La movilidad, según la mirada del director administrativo, debe ser un asunto de Bienestar, y en el caso de las universidades, Bienestar de la comunidad, está reflejado en tiempo, en aportes ambientales, culturales y de seguridad. Por ser considerado API (Área de Protección de Infraestructura), UPB está obligada a presentar periódicamente planes de ordenamiento y en ellos debe incluirse el factor de movilidad. En cuanto a la medida de cobro se tiene un sistema de recaudo electrónico a través del carné que tiene un dispositivo que permite recibir las recargas realizadas., también tienen sistema de tiquete individual.

Una de las posibles medidas que se podrían dar en UPB para contribuir al estímulo del transporte público es una ruta que conecte la estación del Metro y en el futuro Metroplús con



la Universidad, aunque en el pasado ya se intentó pero ésta no tuvo acogida entre los estudiantes, así que se optó por retirarla.

3. 1.3 Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Otra de las Universidades que es de interés para este estudio es la Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín- Por su extensión y gran número de personas que confluyen diariamente hasta ella, (más de 10.000 estudiantes y cerca de 1200 empleados incluyendo docentes). En el caso de la movilidad, en la actualidad la Universidad Nacional no tiene ninguna restricción en cuanto al ingreso. Ni cobros de tarifa, ni Pico y Placa, la única distinción que se hace es el de una calcomanía que identifica a los empleados y profesores y que permite que no sea necesario inspeccionar el auto, por lo tanto esto mejora el ritmo de las entradas para disminuir las posibles congestiones. La universidad se ha apoyado en la realización de estudios como el Plan Campus 2007 (Componente Movilidad), este estudio a primera vista reflejaría que los estacionamientos tienen una capacidad en número de celdas inferior a la demanda, (diagnóstico), pero este valor responde sobre todo a que los autos se estacionan en las vías aledañas (zonas verdes no aptas o lugares sin señalización) o en las zonas de circulación de otros vehículos o peatones. Esta situación puede cambiar con un mejor uso en conjunto de los parqueaderos por parte de los usuarios, al buscar lugares realmente disponibles en alguno de los parqueaderos existentes.

Aunque los parqueaderos en algunos periodos del día se ven llenos, podría pensarse que ya sobrepasaron su capacidad, sin embargo los parqueaderos con los que cuenta la universidad aún satisfacen la demanda con el área construida actual, es de anotar que al pasar los años aunque la universidad permaneciera con la misma área construida, llegaría el momento en que la capacidad de los parqueaderos alcanzarían su máximo, y la demanda superaría la oferta, pero la solución a un problema de transporte no siempre es aumentar la oferta, a veces se trata es de ejercer un control sobre la demanda con medidas como, por ejemplo, la restricción de la entrada de vehículos por el número de la placa. Algunas medidas que podrían implementarse para disminuir el uso de los vehículos privados sería estimular el uso de la bicicleta y organizar jornadas como el día del “no automóvil”, para esto se debe disponer de ciclo rutas que comuniquen los diferentes bloques de las sedes. (Aldana y Zapata, 2007) Esta situación es muy similar en la sede de Arquitectura y agronomía como en la Facultad de Minas.



3. 1.4. Universidad de Antioquia

En la Universidad de Antioquia desde el 1 de febrero del 2007 comenzó a regir el pico y placa en la ciudadela central. La medida, al igual que en Eafit y UPB rige durante todo el día, en consonancia con los parámetros fijados por la Alcaldía de Medellín que inicialmente fueron 2 placas restringidas y que desde Agosto de 2008 pasaron a ser 4. Antes de la medida en la U. de A. se presentaron problemas de espacio insuficiente para los vehículos que circulan a diario por la universidad. A diferencia de Eafit y la UPB el parqueadero es gratuito. La situación empezó a volverse crítica cuando la vía circunvalar que tiene espacio para el tránsito peatonal y que es muy utilizada para hacer ejercicio se vio invadida por vehículos es esta franja. Se realizó en 2007 un estudio de movilidad y actualmente se realiza una investigación sobre la movilidad en la Universidad. Los resultados encontrados en este trabajo muestran que en la actualidad el Campus tiene una ocupación de parqueaderos de cerca del 90%. Más detalles sobre el diagnóstico realizado se muestran en el capítulo 5.

Todo lo anterior muestra de alguna manera, la falta de un mayor compromiso de los usuarios que van todos los días a los planteles educativos, y aunque es muy claro que este compromiso sólo se puede regular con la implantación de políticas claras y eficientes por parte de las instituciones, se esperaría de este tipo de población una posición más reflexiva frente a la situación de movilidad que atraviesa la ciudad y que además incluyera una conciencia ambiental frente al uso indiscriminado del vehículo, pues estas situaciones pueden y deben mejorarse con un componente de voluntad y decisión de cada usuario, pero la situación real es que para nuestro medio el carro aún es una muestra de estatus más que de solución de transporte, pues en muchos casos, a pesar de vivir cerca de las universidades y por lo tanto poder desplazarse hasta ellas a pie o en bicicleta (la Universidad de Antioquia está conectada casi por completo con la ciclo-ruta que viene desde Laureles) , los usuarios, estudiantes, profesores y empleados prefieren movilizarse en su vehículo particular, y en la mayoría de los casos solos.



4 METODOLOGÍA

4.1 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE UN MODELO DE REPARTO MODAL

El proceso de planificación de la obtención del modelo, se da por los siguientes pasos fundamentales.

4.1.1 Formulación del problema

Cualquiera sea el modelo, debe tomarse el mínimo nivel de complejidad que permita resolver el problema. Se requieren los siguientes aspectos para su definición:

- Objetivos a alcanzar
- Restricciones existentes
- Variables de decisión
- Funciones de valoración y criterios de decisión

4.1.2 Caracterización del estudio de acuerdo a su ámbito social

Para la representación y planificación del transporte, la zona de estudio debe ser tratada de acuerdo a su ámbito socio - cultural y al estado de su desarrollo. En el caso de los países en desarrollo, estas condiciones las componen, entre otras; los bajos ingresos, la rápida urbanización y cambio, la fuerte demanda por servicios de transporte público y escasez de recursos, datos de buena calidad y personal calificado.

4.1.3 Tipos de datos

Actualmente existen dos técnicas o enfoques para la recolección de información útil en la modelación de problemas de transporte. Estas son denominadas Preferencias Reveladas (P.R.) y Preferencias Declaradas (P.D.).



Las **Preferencias Reveladas (PR)**, son datos que reflejan el comportamiento actual de los individuos en sus decisiones de viaje. Estos 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. Hasta la mitad de los años 80 éste fue el tipo de datos más utilizado en la modelación de la demanda de transporte. En el caso del transporte, los aspectos observados se constituyen por el medio de transporte utilizado, el tiempo de viaje entre un par origen - Destino, la tarifa del servicio, entre otras. Finalmente, se obtiene algo así como una fotografía de lo que está sucediendo en distintos lugares, en un momento dado; en cuanto a la elección de los individuos y el conjunto de opciones disponibles no elegidas por ellos. Con esta información es posible determinar las preferencias de viaje con técnicas estadísticas apropiadas para el análisis de decisiones de elección discreta (Cardona, 2008).

Sin embargo, presentan una serie de limitaciones en términos de comprensión del comportamiento de viajes (ver Ortúzar y Willumsem, 2001). Las observaciones de las elecciones actuales pueden no presentar suficiente variabilidad para la construcción de buenos modelos que permitan evaluar proyectos y realizar predicciones. Las variables más interesantes suelen estar correlacionadas, por ejemplo, el tiempo de viaje y el costo; en este caso, es difícil, separar dicho efecto en la modelación y por lo tanto también en la fase predictiva. No es posible el estudio de variables latentes; pueden existir factores que dominen el comportamiento actual, lo que dificulta detectar la importancia relativa de otras variables igualmente importantes como el confort, la seguridad, la puntualidad del servicio, etc. No permiten estudiar los efectos de nuevas políticas, como por ejemplo la introducción de un nuevo modo de transporte. No existe información completa sobre las condiciones del mercado, lo que dificulta determinar el conjunto real de elecciones disponibles. Están sujetas a potencialmente importantes errores de medida, especialmente de nivel de servicio; esto se intenta resolver realizando el investigador las mediciones para el conjunto de alternativas disponibles (Murillo, 2007).

De acuerdo a Ortúzar (2000) las **Preferencias Declaradas (P.D.)** 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.

Las alternativas planteadas a los encuestados son descripciones de una situación o contexto creado por el investigador, diferenciadas por el valor que toman sus atributos. Los métodos



más conocidos para la aplicación de esta técnica son el *Análisis Conjunto*, la *Medición Funcional* y el *Análisis de Compromisos* (Ortúzar, 2000).

Con respecto a estos métodos, puede afirmarse que no se ha unificado la forma de referirse a ellos, ni se ha delimitado el alcance de cada uno (Louviere, 1988 y Kroes y Sheldon, 1988), pero los tres utilizan técnicas de diseño experimental para generar las opciones a ser evaluadas por el encuestado.

La posibilidad de diseñar experimentos de PD permite, en principio, resolver los problemas que presentan las PR (Ortúzar y Willumsen, 2001). Se puede ampliar el rango de variación hasta el nivel en el que existe un compromiso entre las distintas alternativas consideradas en el diseño; en la construcción de los escenarios se puede evitar la existencia de correlación entre variables; permiten incorporar tanto atributos como alternativas no disponibles en el momento del análisis; se puede aislar el efecto de un determinado atributo así como considerar variables latentes; el conjunto de elección se puede pre-especificar; en el diseño, se pueden evitar los errores de medida. Sin embargo, los métodos de preferencias declaradas incluyen determinados sesgos que habrá que considerar y tratar de minimizar.

Estos sesgos son:

- **Sesgo de afirmación:** El entrevistado contesta, consciente o inconscientemente, lo que cree que el entrevistador quiere.
- **Sesgo de racionalización:** El entrevistado intenta ser racional en sus respuestas con el objetivo de justificar su comportamiento en el momento de la entrevista, asociado a un fenómeno inconsciente denominado, *disonancia cognitiva*.
- **Sesgo de política:** El entrevistado contesta con el objetivo de influir en las decisiones de política en función de su creencia de cómo pueden afectar los resultados de la encuesta.
- **Sesgo de no restricción:** A la hora de responder no se toma en cuenta todas las restricciones que afectan a su comportamiento, de manera que las respuestas no son reales.

Todos estos sesgos implican la posible existencia de errores de medición de la variable dependiente (la elección). Los experimentos de preferencias reveladas, sin embargo, poseen la posibilidad de error de medición en las variables independientes, ya que lo que se observa de la realidad es la elección y la evaluación de las variables independientes se realiza por medio de la medición indirecta.



La técnica de PD se limita además en cuanto a no tener ninguna seguridad de que los individuos actuarán en efecto como lo declaran, una vez sea real la presencia de la nueva alternativa (Cardona, 2008).

4.1.3.1 Diseño experimental de una encuesta con técnica de P.D.

Para crear de manera satisfactoria el conjunto de situaciones hipotéticas a elegir por los individuos encuestados, Kocur et al (1982) propone los siguientes pasos:

- Identificación del ámbito de elección, factores a considerar y rango de variación probable.
- Versión inicial del experimento: borrador del cuestionario definitivo.
- Con la ayuda de un “grupo focal” mejorar las condiciones del cuestionario.
- Rediseño del cuestionario con las recomendaciones surgidas a partir del “grupo focal”.
- Realización de una Encuesta Piloto, para evaluación de resultados y rediseño del cuestionario en caso de requerirse.
- Simulación para verificar si el cuestionario permite recuperar los valores de los parámetros de cada atributo.

En el caso que sea posible, se permite omitir o realizar de manera informal algunos de los pasos descritos.

Para la combinación de alternativas del cuestionario, se utiliza un diseño factorial de la forma:

$$a^x b^y c^z \quad (17)$$

a, b y c; son diferentes números de niveles.

Existen X factores con a niveles; Y factores con b niveles y Z factores con c niveles.

Los factores o variables independientes pueden expresarse en escala continua (p.e. tarifa); o en escala discreta (p.e. seguridad). Cada uno además, contiene sus niveles; la tarifa (alta, media y baja; en escala continua los valores específicos), o la seguridad (alta y baja, 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 son utilizados más comúnmente.

Permain et al (1991) propone las siguientes estrategias para reducir el número de opciones:



- Eliminar aquellas opciones que puedan dominar o ser dominadas por el resto de las disponibles.
- Separar las opciones en bloques, tal que cada bloque sea respondido por un subconjunto de encuestados, que al final formarán el conjunto total.
- Utilización de diseños factoriales fraccionados.

4.1.3.2 Tipos de experimento para encuestas de Preferencias Declaradas

Utilizando el método del Análisis Conjunto, y dependiendo del tipo de respuesta del experimento, se distinguen tres categorías:

Escalamiento (rating):

La respuesta se da en una escala matemática o semántica, que se transforma a una escala de utilidad bajo las condiciones que establece el investigador. Se tratan y validan mediante técnicas de regresión que emplean el principio de mínimos cuadrados.

Jerarquización (ranking):

Las alternativas son comparadas entre sí y ordenadas por atractivo preferencia. Requieren menos información que el escalamiento pero su análisis es más complejo. Con la técnica del Análisis Monotónico de la Varianza, se hace un proceso de minimización compuesto por las utilidades parciales de cada alternativa.

Elección (choice):

Se elige la alternativa que se considere mejor dentro del conjunto de aquellas disponibles. Para la estimación se requieren técnicas de elección discreta, por ejemplo los modelos Logit. *Esta categoría es la utilizada en el desarrollo de la investigación.*

4.1.4 Construcción y Calibración de un Modelo Analítico

Se elige la función más simple para tratar el problema. Se especifica el modelo, sus parámetros y se examina su capacidad predictiva con datos independientes.

4.1.4.1 Formulación del modelo

Wilson (1974) propone los siguientes aspectos de ayuda para el diseño de un modelo:

- Propósito con el cual se construye el modelo
- Variables a incluir, especificando aquellas controlables por el modelador
- Nivel de agregación que se debe utilizar



- Tratamiento del tiempo: en cuanto al horizonte del estudio y a la necesidad de que el modelo resultante sea dinámico.
- Técnicas estadísticas y matemáticas disponibles
- Métodos para la calibración y validación del modelo

4.1.4.2 Enfoque de modelación

Ortúzar y Willumsen (1994), proponen las siguientes características generales para la modelación y particulares para el transporte, que se deben tener en cuenta para la selección del enfoque de modelación: enfoque de toma de decisiones, precisión o nivel de exactitud, disponibilidad de información, estado del arte en modelación, recursos disponibles para el estudio.

4.1.4.3 Especificación del modelo

La especificación del modelo se compone básicamente de tres aspectos. La estructura del modelo, puede ser sencilla (asumiendo todas las opciones como independientes), o compleja (cálculo probabilidades de elección condicionales en selecciones previas). La forma funcional del modelo, habla de la utilización de funciones lineales o no lineales de mayor complejidad, según sea la especificación del problema modelado. Por último, la especificación de variables, determina las variables a usar y la manera en la cual estas ingresarán al modelo.

4.1.4.4 Generación de soluciones para ser probadas

Predicción de variables de planificación: Variables independientes del modelo; se predicen con escenarios de planificación alternativos.

Validación del modelo y simulación de impactos: Se evalúa la robustez y razonabilidad del modelo bajo diferentes escenarios. Se simula el impacto de la aplicación de distintas políticas en términos de indicadores adecuados.

Evaluación de soluciones y recomendación de un plan o estrategia: Evaluación operacional, económica, financiera y social de las alternativas, bajo los indicadores producidos por el modelo.

Implementación de la solución escogida: A cargo de la entidad u organismo que ejecuta el Plan.



4.2 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE ENCUESTAS DE PREFERENCIAS DECLARADAS (PD) PARA EL CASO DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Para el análisis de las distintas estrategias de solución a la congestión vehicular, se hace necesario aplicar diferentes metodologías, entre las cuales aparece un método tradicional que es de preferencias reveladas y además de éste, existe el de preferencias declaradas del que se presenta la metodología en este apartado. Las encuestas PD buscan la evaluación de una política que se quiera estudiar y ayuda a determinar el efecto que esta tendrá en los usuarios o la receptividad que haya entre ellos para adoptarla. En el caso de este estudio se buscó evaluar básicamente dos políticas, ambas buscando estudiar una medida que pueda eventualmente 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 es tener la medida de Pico y Placa sólo en los horarios de la ciudad pero restringiendo la entrada de vehículos con pico y placa durante el resto del día mediante el cobro de una tarifa por la entrada que debería ser sensiblemente más alto 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 alto. La segunda política a evaluar es eliminar la medida de pico y placa durante todo el día pero cobrar diariamente el uso del parqueadero a los usuarios de vehículo particular, dado que hasta ahora el parqueadero ha sido libre. Teniendo presente las políticas a evaluar se diseñaron las encuestas de PD y a continuación se presenta la metodología usada.

Encuestas Aplicadas

El primer paso en el diseño de un ejercicio de Método de Preferencias Declaradas (MPD), es la definición de las variables o factores de interés y de los valores o niveles de esos factores que son necesarios para ser evaluados por las personas que van a responder. Otro factor importante en el diseño de las PD es la escogencia del contexto del experimento y la escala de medida para las variables. En este caso las encuestas se diseñaron utilizando las tablas ortogonales propuestas por Kocur, 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 inicio del viaje (por ejemplo la casa) hasta bajarse del modo transporte y el Número de transbordos durante el viaje a la Universidad de Antioquia. Cada una de estas variables tuvo tres niveles: alto, medio y bajo, de esta manera siguiendo a Kocur, se utilizó el Plan Master 3 y se realizaron 9 preguntas, usando las columnas 1,2 y 4 de dicho plan. Al realizar lo anterior 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. Este diseño es mostrado en los anexos.

Los tiempos de viaje y los costos de los modos, se calcularon a partir de las distancias del centroide de cada comuna hasta la ciudad universitaria (la ciudad de Medellín está dividida en 16 comunas y se tomaron para la encuesta además los municipios de Envigado, Itagüí y Bello identificados con los números 17, 18 y 19 respectivamente, estos fueron elegidos por su cercanía con Medellín y por ser el origen de una fracción más significativa de la comunidad universitaria), por lo tanto la encuesta se aplicaría de manera específica dependiendo de la comuna en la cual reside cada uno de los encuestados, es decir, se hace una tabla de costos y tarifas para cada comuna. Para realizar esto se tiene en cuenta un plano en AutoCAD del Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el cual se miden las distancias hacia la Universidad de Antioquia, con un factor multiplicador de 1.4 por el zigzag de las calles y carreras de la ciudad.

Se calculó el tiempo de recorrido de acuerdo a la velocidad de los vehículos en hora Pico: Vehículo privado y taxis 25Km/h, bus 18 km/h, Metro/Metroplus 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. Esto da el tiempo total de un recorrido que se supone desde el origen del encuestado hasta la Universidad y en la encuesta sólo se presenta el tiempo de un recorrido a los encuestados (se supone el tiempo de regreso igual, aunque no se pregunte por él). El costo de las tarifas se muestra teniendo en cuenta los precios actuales (2008) del transporte público: Bus: 1200, Metro: 1400 (valor medio, sin subsidios, debido a que hay muchas tarifas y descuentos), Metroplus: (valor hipotético de 1800) Taxi: Tarifa mínima 3500, banderazo 1800 y 70 pesos por cada 85m de recorrido. Es importante aclarar que los costos presentados para los modos de transporte públicos son para un sólo recorrido y que el costo de la tarifa en la universidad (para las dos políticas) es para todo el día con entradas y salidas ilimitadas.

Se le muestra 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 (incluyendo caminatas y tiempos de espera) y el rango del costo que tendría el viaje en vehículo particular, taxi, en bus y en Metro/Metroplús, este último dependiendo de la disponibilidad del usuario de uno u otro; y de la tarifa por ingresar el vehículo privado a la Universidad en los días que éste tiene Pico y Placa, teniendo en cuenta que en la actualidad dichos vehículos tienen restricción de ingreso el día del Pico y Placa de acuerdo a las normas de la ciudad, esta tarifa sería alta en relación con las tarifas del servicio público, buscando desestimular el uso del vehículo privado y que en caso



de que quienes lo usen tengan una penalización o peaje por usar el parqueadero de la U. de A. el día de Pico y Placa.

El primer filtro que se tuvo en cuenta para la aplicación de la encuesta fue que el encuestado tuviera disponible el vehículo privado como un modo habitual de transporte, así que ésta aparecía como la primera pregunta. Después de esto se preguntó al encuestado por los modos de transporte público colectivo que tiene disponibles (Bus ó Metro/Metroplus), tratando de hacerle claridad sobre algunas rutas de buses y la del Metro y el Metroplús (la que tendrá una vez entre en funcionamiento), para que pueda dar la respuesta y poder presentarle los modos que más se ajusten a su realidad, de este modo, se presentarán el número de alternativas de acuerdo a la disponibilidad manifestada por el encuestado, así habrán algunos casos en los que se muestren dos modos, otros tres y otros tendrán los cuatro modos disponibles: Veh., Taxi (estos dos siempre estarán disponibles), Bus y/o Metro/Metroplús y en este último elegirá sólo uno de los dos pero se tomará como un mismo modo (Sistema masivo de transporte), este paso es muy importante para la modelación ya que es necesaria la determinación de los modos disponibles por el usuario como dato de entrada al Software BIOGEME que es el que se usó como herramienta en esta investigación.

Una vez realizado este filtro se pregunta el barrio y la comuna (aquí fue importante el uso de un mapa que permitiera la identificación de la comuna) de procedencia, dependiendo de la ésta información y de los modos disponibles, se muestra la tabla en la que aparecen los distintos Costos, Tiempos de Viaje y Número de transbordos, previamente calculados, para que se elija cuál es la opción del 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 y por eso en algunos modos aparece con variabilidad de 0,1 y 2, pero en otros aparece con 0 en todos los casos, es posible que esta maniobra reste ortogonalidad a la matriz pero era necesario para ajustar las preguntas a casos más reales en los que el encuestado pueda responder con más seguridad y veracidad lo que haría en la situación planteada). Otras variables de tipo socio-económicas fueron preguntadas como el Sexo, Tipo de actividad desempeñada en la Universidad si era profesor de tiempo completo, profesor de cátedra, empleado no docente, estudiante de pregrado o estudiante de posgrado.

El contexto de estas preguntas es un día normal, entre semana (de martes a jueves) y seco (sin lluvia) y esta encuesta (ver figuras 8 y 9) se aplicó a una muestra total de 102 usuarios para el pico y placa y 104 para el parqueadero.



Una vez encuestada la población, se procede a tabular las encuestas, para ordenar la información que se obtuvo en éstas y poder ingresarla a BIOGEME. En esta tabulación el software tomará cada pregunta realizada como un dato, así se obtiene una muestra total de 900 preguntas, teniendo que a cada usuario se le plantearon 9 alternativas en la encuesta. En la tabulación debe asignársele un valor numérico a la opción tomada cada vez por el encuestado (cada modo tiene un número: Vehículo 1, Taxi 2, Metro/Metroplús 3, Bus 4), así mismo las variables socioeconómicas deben tener un valor asignado para poder ingresarse al modelo, en ese caso se les daba un valor de 1 si la respuesta es afirmativa y cero si no lo es y para la variable sexo se le asignó 1 a las mujeres 0 a los hombres.

Se realiza un análisis de resultados para extraer conclusiones y evaluar su impacto en la movilidad global a nivel desagregado, para ver si es viable la modificación o no, de la restricción de Pico y Placa en la ciudad Universitaria. Esta información de PD, es utilizada para plantear una modelación del reparto modal de Viajes a la ciudad universitaria a través de un modelo Logit según se elija luego del ranking que se le realiza y en el cual se analizan las diferentes variables y sus resultados, esto debe hacerse aplicando un test de máxima verosimilitud que ayude a elegir el mejor modelo.




Un ejemplo de las encuestas aplicadas se presenta en las figuras 7 y 8. La figura 7 era la tarjeta presentada a los individuos cuya residencia estaba ubicada en la comuna 1, pero de la misma manera y teniendo en cuenta las diferencias en tiempos de viaje y costos se le presentaba a cada encuestando dependiendo de la comuna de procedencia. La figura 8 es la tarjeta de respuesta en la que se consignaba la información suministrada por los individuos y las elecciones de los mismos.




UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA				
ENCUESTA DE PREFERENCIAS DECLARADAS PAGO PICO Y PLACA				
El día que usted tiene Pico y Placa NO puede ingresar a la Universidad con su vehículo. Si se le planteara la posibilidad de traer su carro el día del pico y placa pagando una tarifa por ello, pero igualmente tuviera otras alternativas de transporte, las cuales se le presentan a continuación, cuál elegiría si se trata de un día común y teniendo en cuenta el costo de viaje, el tiempo de viaje que cuenta desde el momento de salir de su casa hasta bajarse del modo transporte (incluye el tiempo de caminata, espera y el de transbordos), y el número de transbordos realizados en el viaje hasta la Universidad de Antioquia?				
Comuna # 1 Popular				
Situación 1				
Variable	Vehículo	Taxi	Metro/Metroplús	Bus
Costo viaje	5000	7500	1600	2400
Tiempo de viaje	10	20	20	35
Nº de Transbordos	0	0	0	1
Situación 2				
Variable	Vehículo	Taxi	Metro/Metroplús	Bus
Costo viaje	5000	7500	2400	1200
Tiempo de viaje	15	20	30	45
Nº de Transbordos	0	0	0	1
Situación 3				
Variable	Vehículo	Taxi	Metro/Metroplús	Bus
Costo viaje	5000	5500	1600	1200
Tiempo de viaje	20	20	30	35
Nº de Transbordos	0	0	2	0
Situación 4				
Variable	Vehículo	Taxi	Metro/Metroplús	Bus
Costo viaje	10000	6500	1250	1900
Tiempo de viaje	10	15	20	40
Nº de Transbordos	0	0	0	0
Situación 5				
Variable	Vehículo	Taxi	Metro/Metroplús	Bus
Costo viaje	10000	7500	1250	2400
Tiempo de viaje	15	15	30	45
Nº de Transbordos	0	0	1	0
Situación 6				
Variable	Vehículo	Taxi	Metro/Metroplús	Bus
Costo viaje	10000	7500	2400	2400
Tiempo de viaje	20	25	25	40
Nº de Transbordos	0	0	1	1
Situación 7				
Variable	Vehículo	Taxi	Metro/Metroplús	Bus
Costo viaje	15000	5500	1600	1900
Tiempo de viaje	10	25	20	35
Nº de Transbordos	0	0	1	1
Situación 8				
Variable	Vehículo	Taxi	Metro/Metroplús	Bus
Costo viaje	15000	6500	2400	2400
Tiempo de viaje	15	20	20	35
Nº de Transbordos	0	0	2	1
Situación 9				
Variable	Vehículo	Taxi	Metro/Metroplús	Bus
Costo viaje	15000	6500	1250	1200
Tiempo de viaje	20	25	25	40
Nº de Transbordos	0	0	2	1

Figura 7: Formato de PD Pico y Placa calculada para la comuna 1



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
ENCUESTA DE PREFERENCIAS DECLARADAS PAGO PICO Y PLACA



1

Sexo F _____ M _____
 Tiene vehículo S _____ N _____
 Barrio _____ Comuna _____

Usted entre el Metro/metroplus y bus cual usaría más fácilmente de acuerdo a su ubicación y preferencia?
 M/MP _____ BUS _____

MOTIVO VISITA

Docente	TC	Cátedra	Empleado no docente	Otro
Estudiante	Pregrado	Posgrado	Cuál?	

Si es Docente o estudiante, cuál es el programa académico? _____

DÍA COMÚN

Situaciones	VEHÍCULO	TAXI	METRO/METROPLUS	BUS
Situación 1				
Situación 2				
Situación 3				
Situación 4				
Situación 5				
Situación 6				
Situación 7				
Situación 8				
Situación 9				

Figura 8: Formato típico de hoja de respuesta para la encuesta PD Pico y Placa y Parquedero