

**MODELACIÓN DE LA ELECCIÓN DE LA TERMINAL
AEROPORTUARIA ENTRE DOS AEROPUERTOS
CERCANOS**

**MODELING OF THE AIRPORT TERMINAL CHOICE
OF TWO NEARBY AIRPORTS**

Claudia Helena Muñoz Hoyos, IC

Director

Iván Reinaldo Sarmiento Ordosgoitia, Ph.D.

Co-Director

Jorge Eliécer CórdobaMaquilón, Ph.D.

Tesis Presentada como Requisito para Optar el Título de
Master en Ingeniería – Infraestructura y Sistemas de Transporte

Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín
Facultad de Minas

2012

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REQUERIMIENTOS, OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	3
2.1 REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES	3
2.2 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	4
2.3 OBJETIVOS	4
2.3.1 Objetivo general.....	4
2.3.2 Objetivos específicos.....	4
2.4 APORTES QUE SE ESPERAN OBTENER	4
3. PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN	6
3.1 PROBLEMATICA	6
3.2 JUSTIFICACION	6
4. ANTECEDENTES	8
4.1 EL TRANSPORTE AEREO COMERCIAL	8
4.2 LA DEMANDA DE TRANSPORTE AEREO	9
4.2.1 Factores Estructurales.....	9
4.2.2 Factores Economicos.....	10
4.2.3 Calidad del servicio.....	13
4.3 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS AEROPUERTOS	13
4.3.1 Aeropuerto Enrique Olaya Herrera.....	13
4.3.2 Aeropuerto José María Cordova.....	15
4.4 ESTADISTICAS DEL TRANSPORTE AEREO	18
4.4.1 Comportamiento del trafico aereo en Colombia.....	18
4.4.2 Comportamiento del trafico aereo en los aeropuertos JMC y EOH.....	19
5. METODOLOGÍA	22
5.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	22
5.2 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	22
5.3 ANALISIS DE LA INFORMACIÓN	22

TESIS DE MAESTRIA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Minas

5.4 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES	22
5.5 REALIZACIÓN DE LAS ENCUESTAS	22
5.6 FORMULACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL MODELO	23
6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MARCO TEÓRICO	24
6.1 MODELO DE TRANSPORTE	24
6.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE UN MODELO DE TRANSPORTE	25
6.2.1 Consideraciones generales.....	25
6.2.2 Técnicas de preferencias declaradas.....	27
6.2.3 Construcción y calibración de un modelo analítico	30
6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL DE UNA ENCUESTA CON TECNICA DE PREFERENCIAS DECLARADAS	31
6.4 MODELACIÓN DE LA DEMANDA	32
6.4.1 Modelos de elección discreta.....	33
6.4.1.1 Teoría de utilidad aleatoria.....	35
6.4.1.2 Modelo Logit Multinomial (MNL).	37
6.4.1.3 Modelo Logit Mixto (ML).	39
6.4.1.4 Modelación con datos Mixtos.....	40
6.4.2 Test Estadísticos utilizados en la elección de los modelos.....	44
6.4.2.1 Test t.	44
6.4.2.2 Test de razón de Verosimilitud.....	45
6.4.2.3 Índice ρ^2	45
6.4.2.4 Test LR para modelos mixtos	46
6.5 INVESTIGACIONES EN EL CAMPO DE INTERÉS	46
6.5.1 Diseño de preferencias declaradas para analizar la demanda de viajes	46
6.5.2 Diseño experimental en estudios de preferencias declaradas: Criterios de eficiencia para Modelos Logit.	46
6.5.3 Resultados de la preferencia de los pasajeros en tipos específicos de aeropuertos.....	47
7. INFORMACIÓN REQUERIDA	48
7.1 DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	48
7.2 ANALISIS GRUPO FOCAL	48
7.2.1 Definición grupo focal	49
7.2.2 La reunión.....	49
7.2.3 Información obtenida	49
7.3 DISEÑO DE LA ENCUESTA DE PREFERENCIAS DECLARADAS	50
7.4 RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	53
7.4.1 Prueba piloto.....	54
7.4.2 Elaboración de la Encuesta de Preferencias Declaradas	54
7.4.3 Resultados de las encuestas	54
7.4.4 Estadísticas básicas de las variables	55

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

8. FORMULACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL MODELO	61
8.1 ESPECIFICACIÓN DEL MODELO	61
8.2 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	61
8.3 ESTIMACIÓN DEL MODELO	64
8.3.1 Modelo Logit Multinomial (MNL).....	64
8.3.1.1 Modelo Logit Multinomial. Destino Bogotá	66
8.3.1.2 Modelo Logit Multinomial. Destino Cali	68
8.3.2 Modelo Logit Mixto (ML).....	68
8.3.2.1 Modelo Logit Mixto Destino Bogotá	68
8.3.2.2 Modelo LogitMixto Destino Cali.....	69
8.4 TEST Y RANKING DE LOS MODELOS	70
8.4.1 Ranking destino Bogotá.....	71
8.4.2 Ranking destino Cali	75
8.5 MODELACIÓN MIXTA	81
8.6 ANALISIS PREDICTIVO	83
8.6.1 Cuotas de mercado de los modos	83
8.6.1.1 Destino Bogotá	83
8.6.1.2 Destino Cali	85
8.6.2 Elasticidades del modelo.....	86
8.6.2.1 Destino Bogotá	86
8.6.2.2 Destino Cali	87
9. CONCLUSIONES	88
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Estructura tributaria del precio de un tiquete.....	12
Tabla 2.	Características técnicas del aeropuerto EOH.....	14
Tabla 3.	Destinos desde el EOH.....	15
Tabla 4.	Aerolíneas que operan desde el EOH.....	15
Tabla 5.	Características técnicas del aeropuerto JMC.....	16
Tabla 6.	Destinos desde el JMC.....	17
Tabla 7.	Aerolíneas que operan desde el JMC.....	18
Tabla 8.	Indicadores del tráfico aéreo en Colombia.....	18
Tabla 9.	Tráfico de pasajeros y aeronaves en los aeropuertos JMC y EOH.....	19
Tabla 10.	Tráfico de pasajeros hacia principales destinos en los aeropuertos JMC y EOH.....	20
Tabla 11.	Personal Participante en el Grupo focal.....	49
Tabla 12.	Análisis del grupo focal.....	49
Tabla 13.	Niveles de las variables en el trayecto Medellín-Bogotá.....	51
Tabla 14.	Niveles de las variables en el trayecto Medellín-Cali.....	51
Tabla 15.	Distribución de encuestas por aeropuertos.....	53
Tabla 16.	Información básica de la encuesta.....	55
Tabla 17.	Medio de transporte utilizado para llegar al aeropuerto.....	56
Tabla 18.	Distribución de encuestas por estrato.....	56
Tabla 19.	Distribución de encuestas por ingresos.....	57
Tabla 20.	Distribución de encuestas por ocupación.....	58
Tabla 21.	Distribución de encuestas por motivo de la mayoría de los viajes.....	58
Tabla 22.	Distribución de encuestas por tipo de avión en el que se prefiere viajar.....	58
Tabla 23.	Distribución de encuestas por cantidad de maletas llevadas.....	59
Tabla 24.	Distribución de las encuestas por número de acompañantes en el viaje.....	59
Tabla 25.	Distribución de encuestas por viajes realizados al año.....	59
Tabla 26.	Distribución de encuestas por tiempo de reserva.....	60
Tabla 27.	Porcentaje de elección por alternativa para el destino Bogotá.....	60
Tabla 28.	Porcentaje de elección por alternativa para el destino Cali.....	60
Tabla 29.	Variables explicativas.....	61
Tabla 30.	Variables contenidas en la base de datos de PD correspondiente a los destinos Bogotá y Cali.....	61
Tabla 31.	Relación de signos esperados para las variables de las funciones de Utilidad.....	63
Tabla 32.	Análisis de Correlación en los datos del destino Bogotá.....	63
Tabla 33.	Análisis de Correlación en los datos del destino Cali.....	63
Tabla 34.	Resultados MNL según base de datos inicial.....	64
Tabla 35.	Variables agrupadas.....	66
Tabla 36.	Resultados MNL Bogotá con base de datos de variables agrupadas.....	67

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 37.	Resultados MNL Cali con base de datos de variables agrupadas.....	68
Tabla 38.	Resultados ML Bogotá con base de datos de variables agrupadas.....	69
Tabla 39.	Resultados ML Cali con base de datos de variables agrupadas.....	70
Tabla 40.	Resumen modelos MNL para Bogotá.....	71
Tabla 41.	Ranking de Modelos MNL para el destino Bogotá.....	72
Tabla 42.	Resumen modelos ML para Bogotá.....	72
Tabla 43.	Ranking de Modelos ML para el destino Bogotá.....	73
Tabla 44.	Modelos para cada aeropuerto en el destino Bogotá.....	75
Tabla 45.	Resumen modelos MNL para Cali.....	76
Tabla 46.	Ranking de Modelos MNL para el destino Cali.....	77
Tabla 47.	Resumen modelos ML para Cali.....	77
Tabla 48.	Ranking de Modelos ML para el destino Cali.....	78
Tabla 49.	Comparación mejores modelos MNL y ML para el destino Cali.....	78
Tabla 50.	Estimaciones de valor subjetivo del tiempo (COP/minuto).....	80
Tabla 51.	Modelos para cada aeropuerto en el destino Cali.....	80
Tabla 52.	Frecuencias en el trayecto Medellín-Bogotá.....	81
Tabla 53.	Frecuencias en el trayecto Medellín-Cali.....	81
Tabla 54.	Modelos MNL con datos de Preferencias Reveladas.....	82
Tabla 55.	Valores asignados a las variables contenidas en la función de utilidad.....	83
Tabla 56.	Cuotas del mercado de los modos para el destino Bogotá.....	84
Tabla 57.	Datos complementarios para el cálculo de las cuotas de mercado en el trayecto Medellín-Bogotá.....	84
Tabla 58.	Cuotas del mercado de los modos para el destino Cali.....	85
Tabla 59.	Datos complementarios para el cálculo de las cuotas de mercado en el trayecto Medellín-Cali.....	85
Tabla 60.	Elasticidades directas y cruzadas del modelo para el destino Bogotá.....	86
Tabla 61.	Elasticidades directas y cruzadas del modelo para el destino Cali.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Movimiento de pasajeros en el 2010 con destino a Bogotá.....	20
Figura 2.	Movimiento de pasajeros en el 2010 con destino a Cali.....	21
Figura 3.	Movimiento de pasajeros en el 2010 con destino a Barranquilla.....	21
Figura 4.	Gráfico con los parámetros de los modelos de PR y PD.....	42
Figura 5.	Gráfico de estimación con datos mixtos.....	43
Figura 6.	Distribución de las encuestas por sexo.....	55
Figura 7.	Distribución de las encuestas por edad.....	56
Figura 8.	Distribución de las encuestas por quien paga el tiquete.....	57

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Diseño de la encuesta de preferencias declaradas.....	95
ANEXO B. Formato de la encuesta.....	96
ANEXO C. Base de datos para los destinos Bogotá y Cali	
ANEXO D. Modelos para el destino Bogotá	
ANEXO E. Modelos para el destino Cali.	

Los anexos C, D y E están en medio magnético

RESUMEN

Esta investigación presenta los resultados de una encuesta de preferencias declaradas en un experimento de elección discreta, diseñado para examinar la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos en Medellín.

En la actualidad un pasajero que parte de la ciudad de Medellín, tiene la opción de viajar a un destino determinado por alguno de los dos aeropuertos, el José María Córdova (JMC) o el Enrique Olaya Herrera (EOH), lo importante es determinar cuáles son las principales razones que llevan a la escogencia de la terminal aeroportuaria.

Las encuestas de preferencias declaradas fueron aplicadas en las salas de espera de cada aeropuerto y se evaluaron los destinos Bogotá y Cali, los cuales son rutas comunes partiendo de cada aeropuerto. Otro de los aspectos importantes fue que la encuesta estuvo dirigida a habitantes del Valle de Aburrá, esto con el fin de que se tuviera claro la existencia de dos aeropuertos en el área; se plantearon dentro de la encuesta 9 escenarios diferentes y cada aeropuerto fue representado en términos del costo del tiquete, costo del desplazamiento a cada terminal aeroportuaria y tiempo que tarda el usuario en llegar al aeropuerto. En el desarrollo de la encuesta se tuvieron en cuenta variables como sexo, edad, ocupación, viajes que realiza al año por trayecto, motivo del viaje, ingresos, estrato socioeconómico, medio de transporte empleado para llegar al aeropuerto, equipaje, tiempo de reserva, tipo de aeronaves en que se prefiere viajar, quién paga el tiquete, quién escoge el aeropuerto, número de acompañantes, y número de maletas.

Se realizaron un total de 200 encuestas, 120 para usuarios con destino Bogotá y 80 para usuarios con destino Cali, se obtuvo un total de 1080 observaciones para el destino Bogotá y 720 datos para Cali. Partiendo de esto se construyeron 2 bases de datos para la obtención del modelo por destino; para cada uno de estos se obtuvieron modelos logit multinomial y logit mixto, aplicando los test estadísticos utilizados en la elección de los modelos se escoge para el destino Bogotá como para Cali un modelo multinomial como el mejor.

En el modelo encontrado para el trayecto Medellín – Bogotá, las variables que influyen en la elección del aeropuerto José María Córdova son el costo del tiquete, el costo de llegar a cada terminal, el tiempo de viaje al aeropuerto, el sexo, la edad y el tipo de aeronaves en los que se prefiere viajar; mientras que para el aeropuerto Enrique Olaya Herrera, aparte de las variable evaluadas en la encuesta de preferencias declaradas intervienen las variables medio de transporte para llegar al aeropuerto, el tiempo de reserva y el motivo del viaje.

TESIS DE MAESTRIA

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Para el destino Cali se encuentra que las variables influyentes en el modelo encontrado para el JMC son el costo del tiquete, el costo de llegar a cada terminal, el tiempo de viaje al aeropuerto y el estrato del individuo; para el EOH las variables influyentes son el tiempo de reserva, el motivo del viaje y el tipo de aeronaves en los que se prefiere viajar, esto sin contar las variables evaluadas en la encuesta, las cuales también son significativas.

El valor subjetivo del tiempo para los dos destinos evaluados presenta un valor alto, esto indica que las personas que utilizan el modo aéreo tienen ingresos altos, situación que facilita acceder a este medio de transporte el cual es costoso.

Se cumple entonces la hipótesis que cada trayecto evaluado tiene comportamiento diferente, esta afirmación es basada en las elasticidades presentadas al final de la investigación.

PALABRAS CLAVES: Elección discreta, preferencias declaradas, trayecto, aeropuerto.

ABSTRACT

This investigation presents the results of a survey on stated preference discrete choice experiment designed to examine the choice of the airport terminal between two nearby airports in Medellin.

Currently a passenger of the city of Medellin has the option of traveling to a destination determined by either of the Jose Maria Cordova – JMC airport or Enrique Olaya Herrera - EOH, the important thing is to identify key parameters that lead to the choice of the airport terminal.

Stated preference surveys were developed in the waiting rooms of each airport and destinations Bogota and Cali were assessed, which are common routes based on each airport. Another important aspect was that the survey was aimed at people in the Aburrá Valley, this in order that they had clear the existence of two airports in the area. In the survey was raised 9 different scenarios and each airport was represented in terms of the cost of the ticket, cost of travel to each airport terminal, and time it takes to reach the airport. In developing the survey, it took into account variables such as sex, age, occupation, year trips made each way, purpose of travel, income, socioeconomic status, means of transport used to arrive at the airport, luggage, reservation time, preferred type of aircraft to travel, who pays the ticket, who chooses the airport, number of companions and number of bags.

There were a total of 200 surveys, 120 to users bound for Bogotá and 80 to Cali, were obtained a total of 1080 observations for the destination Bogotá and 720 for Cali, based on these, are built 2 databases to obtain the model by destination for each of these models; for each one of these destinations were obtained models multinomial logit and mixed logit, applying the statistical tests used in the choice of models for the destination is chosen for both destinations multinomial model as the best one.

In the model found for the journey Medellin- Bogota, the variables that influence the choice of Jose Maria Cordova airport are the cost of the ticket, the cost of reaching each terminal, the travel time to the airport, sex, age and the type of air craft in which they prefer to travel, while for the Enrique Olaya Herrera airport, away from the variable evaluated in the stated preference survey are involved the variables transportation to the airport, the time of booking and the reason for the trip.

For the destination Cali was found that the influential variables in the model obtained for the JMC are the cost of the ticket, the cost of reaching each terminal, the travel time to the airport and the stratum of the individual; for EOH the influential variables are backup time,

TESIS DE MAESTRIA

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

the purpose of travel and type of air craft in which they prefer to travel, this without counting the variables evaluated in the survey, which are also significant.

The subjective value of time for the two destinations evaluated has a high value this indicates that people who use air transportation mode have high income making it easier to access this mode of transport which is expensive

Then the hypothesis fulfilled that each way evaluated has different behavior, this statement is based on the elasticities presented at the end of the investigation.

KEY WORDS: Discrete choice, stated preference, route, airport

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos de elección discreta, basados en la teoría de la utilidad aleatoria, se han utilizado ampliamente para el análisis de la situación de elección de modo de transporte para realizar un desplazamiento, en este caso el modo de transporte es el mismo, el aéreo; la elección se hace por cuál aeropuerto viajar.

En el presente trabajo se muestran las distintas aplicaciones de los principios económicos a la elección del aeropuerto. El análisis económico del sistema de transporte debe considerar por un lado los problemas que se derivan de la producción del servicio (oferta) y, por otro los subyacentes a la satisfacción de las necesidades en esta materia (demanda). Se aplica la teoría microeconómica a la toma de decisiones de consumo para maximizar la utilidad, dada una serie de restricciones.

Es así que un usuario del modo aéreo tiene por ejemplo la opción de viajar a Bogotá por cualquiera de los dos aeropuertos que sirven a la ciudad de Medellín, teniendo en cuenta que desde ambas terminales se ofrecen variedad de tarifas; además, del tiempo y el costo que el usuario experimenta al llegar a cada una de ellas.

Las terminales disponibles en la investigación son el aeropuerto Enrique Olaya Herrera y el José María Córdova y se evalúan los trayectos Medellín-Bogotá y Medellín-Cali, los cuales son comunes partiendo de cada terminal aeroportuaria

En esta investigación se formulan y evalúan modelos de elección discreta para estudiar la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos. Es así que se generan modelos Logit Multinomial y Logit mixto. Por medio de estos modelos se puede analizar el comportamiento de los individuos ante las dos alternativas existentes. A su vez, se puede determinar el valor subjetivo del tiempo dado por cada modelo seleccionado, se pueden formular y evaluar políticas que vayan en pro de aumentar la demanda.

En los capítulos 2 y 3 se plantean el objetivo general y los específicos los cuales se pretenden cumplir al final de la investigación; además se presenta una justificación del tema a tratar.

En el capítulo 4 se da a conocer las características de los dos aeropuertos disponibles, complementando esto con la inclusión de las características del tráfico aéreo en cada terminal. El capítulo 5 y 6 están compuestos de la revisión bibliográfica en el tema a tratar y se plantea una metodología a seguir en la estimación de los modelos para cada uno de los trayectos a evaluar.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Los datos previos para realizar la encuesta definitiva están incluidos en el capítulo 7, en el cual se enumeran las pautas a seguir para la formulación del modelo, tema que se desarrolla en el capítulo 8, en el cual se originan modelos logit multinomial y logit mixto para cada trayecto y con los resultados obtenidos se extrae el mejor modelo para con esto calcular las cuotas del mercado de los dos aeropuertos evaluados. Los valores subjetivos del tiempo están dentro de lo esperado y ratifican que los individuos que acceden a este medio tienen ingresos altos.

Sobre las variables contenidas en los modelos para cada destino se concluye sobre su comportamiento dentro de la elección de cada terminal, adicional a esto se confirma que los modelos obtenidos para cada uno de los trayectos son diferentes.

Se crea entonces una herramienta eficiente la cual complementa las políticas de distribución de pasajeros en ambas terminales; en la actualidad la operación de ambas terminales está a cargo de la concesión Airplan, se sugiere entonces al operador aeroportuario adicionar a la investigación la modelación de futuros trayectos comunes saliendo de los dos aeropuertos disponibles

Se pretende que los resultados de esta investigación sean utilizados únicamente bajo el concepto de herramienta y no como componente definitivo en la toma de decisiones.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

2. REQUERIMIENTOS, OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

A continuación se presentan los requerimientos, hipótesis y objetivos de esta investigación.

2.1 REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES

Los requerimientos para el desarrollo de este proyecto de investigación, se dan básicamente por los siguientes aspectos:

- La investigación está concentrada para los destinos Bogotá y Cali, ya que hacia ambas ciudades se parte desde los dos aeropuertos: el José María Córdova (JMC) y el Enrique Olaya Herrera (EOH), que sirven a la ciudad de Medellín.
- La información base para la investigación, está conformada por la realización de 200 encuestas de preferencias declaradas distribuidas en 120 encuestas en el aeropuerto JMC y 80 encuestas en el aeropuerto EOH y se realizaron a usuarios que vivían en Medellín, Bello, Itagüí, Envigado y Sabaneta.
- Para el procesamiento de las encuestas y la obtención del modelo, se utilizó el programa Biogeme versión 1.7, el cual se encuentra disponible de manera gratuita en Internet (<http://transp-or.epfl.ch/page63023.html>).

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

- El resultado de esta investigación debe ser utilizado únicamente bajo el concepto de herramienta y no como componente definitivo en la toma de decisiones trascendentales.
- Para la zona de estudio, se limita sólo a usuarios que residen en el municipio de Medellín y los municipios cercanos, no se tuvo en cuenta la población del oriente ya que se supone que en su mayoría utilizarían el aeropuerto José María Córdova para iniciar su viaje
- Los modelos a realizar sólo son para los destinos Bogotá y Cali los cuales son comunes cuando se parte de cada aeropuerto, el destino Barranquilla se omitió, ya que esta ruta actualmente no está en servicio desde el aeropuerto EOH
- Por facilidad y comodidad se realizaron las encuestas en las salas de abordaje, ya que los usuarios están esperando sin afanes, mientras que si la encuesta se

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

realiza para usuarios que están arribando, estarían ocupados en la reclamación de equipaje y en llegar a su destino final; por tanto la investigación estaría centrada en usuarios que parten de la ciudad de Medellín y sus municipios cercanos.

2.2 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La hipótesis de esta investigación es probar que es posible estimar modelos robustos de elección discreta, con sólido soporte microeconómico y estadístico, para evaluar la influencia de los atributos en la toma de decisiones del aeropuerto elegido para trasladarse de Medellín a Bogotá o a Cali.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Estimar modelos de elección discreta con datos de preferencias declaradas (PD) para obtener los parámetros que utilizan las personas al elegir entre dos aeropuertos desde donde pueden iniciar o terminar su viaje.

2.3.2 Objetivos específicos

- Estimar modelos Logit multinomial y Logit mixto a partir de una encuesta de preferencias declaradas realizada a los usuarios que utilizan los aeropuertos JMC y EOH para realizar un viaje a Bogotá y Cali.
- Determinar la elasticidad respecto a los atributos de los modos en la zona de estudio que presentan los usuarios del servicio y de acuerdo con este indicador concluir sobre la influencia de dichas condiciones en la elección final del aeropuerto.
- Analizar la implicación de la elección de la terminal aeroportuaria en las políticas de distribución de pasajeros y vuelos para la concesión Airplan, empresa encargada de la operación de los dos aeropuertos.

2.4 APORTES QUE SE ESPERAN OBTENER

- Se espera producir una herramienta de modelación para una planificación flexible y de alta capacidad de respuesta; bajo el esquema de las técnicas de modelación utilizando preferencias declaradas para la estimación de los parámetros de utilidad en cada una de las alternativas, que se tienen en la ciudad de Medellín sus municipios cercanos.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

- Recomendación de algunas estrategias para la modificación eficiente de las condiciones actuales del modo aéreo; empleando los resultados de los parámetros estimados en la utilidad de la elección de los aeropuertos; con el objetivo último de inducir o facilitar una distribución eficiente de pasajeros y vuelos. En este aporte se aplicarían específicamente las elasticidades encontradas respecto a los atributos evaluados en la elección de los dos aeropuertos disponibles para los usuarios.
- Aportar al operador aeroportuario dos modelos de elección discreta para los destinos Bogotá y Cali, los cuales son una base para el estudio de nuevas rutas comunes para ambas terminales.

3. PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACION

3.1 PROBLEMÁTICA

En el 2011 se movilizaron 1'393.000 pasajeros adicionales a los transportados en el 2010; el mercado internacional creció 11.7%, 727.000 pasajeros más, y el nacional en 4.77%, con un total de 666.000 pasajeros adicionales. Estas cifras confirman que la industria está pasando por una de sus etapas de mayor crecimiento en la historia colombiana. A nivel nacional, se esperaba, que el número de personas transportadas fueran similares a las del año anterior, y la realidad superó las expectativas que tenían las diferentes aerolíneas.

Hace 23 años el país estrenó uno de los aeropuertos más modernos de América Latina: el José María Córdova, en jurisdicción del municipio de Rionegro (Antioquia), la idea era descongestionar el viejo terminal aéreo Olaya Herrera ya que se encontraba sobre utilizado.

En la actualidad un pasajero tiene la opción de viajar a un destino determinado por alguno de los dos aeropuertos el José María Córdova o el Enrique Olaya Herrera o llegar a alguno de ellos, lo importante es determinar cuáles son los principales parámetros que llevan a la escogencia de cada una de las alternativas disponibles para las salidas. Es así que un usuario del modo aéreo tiene por ejemplo la opción de viajar a Bogotá por el aeropuerto de Rionegro o por el de Medellín, teniendo en cuenta que desde el José María Córdova parten diferentes aerolíneas las cuales ofrecen variedad de tarifas, además, del tiempo y el costo que el usuario experimenta al llegar a cada una de las terminales.

3.2 JUSTIFICACIÓN

Hay que tener en cuenta que por número de viajeros, las condiciones en ambos aeropuertos son diferentes. Tomando como referente las cifras de la Aeronáutica del año 2009, en la ruta Rionegro-Bogotá se movilizaron 621.079 pasajeros, mientras que los usuarios transportados en la ruta Olaya Herrera-Bogotá fueron apenas 97.574

Esto se explica por la menor capacidad de las aeronaves que aterrizan en el Olaya Herrera, pues en su mayoría éstas cubren rutas regionales.

El Aeropuerto Internacional José María Córdova es el tercero en Colombia en número de pasajeros, después del Aeropuerto Internacional El Dorado de Bogotá y del Aeropuerto Internacional Alfonso Bonilla Aragón de Cali, y el segundo en movimiento de carga y pasajeros internacionales, después del Aeropuerto Internacional El Dorado. El terminal

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

nacional tiene capacidad para recibir hasta 12 aeronaves y el internacional para 4 aeronaves.

El Aeropuerto Enrique Olaya Herrera, es un aeropuerto colombiano de segundo nivel ubicado en el sur-occidente de la ciudad de Medellín, el cual atiende vuelos regionales y nacionales. Adicionalmente es el aeropuerto con más hangares (lugar donde se parquean las aeronaves para realizarle mantenimientos) y aviación general en Colombia. Debido a la gran cantidad de aviación general y vuelos chárter (vuelos que no están ceñidos a los horarios de las rutas comerciales), regionales y nacionales, el Olaya Herrera es el segundo aeropuerto con más tráfico aéreo en Colombia. Actualmente es considerado el principal aeropuerto regional del país, debido a la gran cantidad de vuelos regulares y chárter de este tipo operados desde y hacia dicho aeropuerto.

Entre los dos aeropuertos de Medellín, se movilizan más de 2,3 millones de pasajeros al 2011, lo que la convierte en la segunda ciudad colombiana con más tráfico de personas de Colombia, después de Bogotá, que moviliza más de 10 millones de pasajeros.

Obteniendo una función de utilidad para cada trayecto, proporcionaría una herramienta eficiente para evaluar las políticas de distribución de pasajeros y vuelos de cada terminal aeroportuaria, las cuales utilizan los usuarios para llegar a otras ciudades.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

4. ANTECEDENTES

Durante la última década ha crecido con fuerza el tráfico aéreo. Pasó de ser un medio de transporte minoritario, reducido a ciertos grupos elitistas y a determinados usos, se ha ido ampliando hasta extenderse a amplios colectivos de la población.

Las causas que motivan este acelerado proceso de crecimiento, son entre otras, la guerra de tarifas entre aerolíneas lo cual conlleva a precios bajos, la seguridad en cuanto a sufrir robos, atracos y secuestros los cuales se presentan con facilidad en carreteras, la rapidez de los desplazamientos, la cual comparada con el medio de transporte terrestre se ve afectada por el mal estado de las vías y la falta de otros sistemas de transporte de pasajeros intermunicipal como por ejemplo el férreo.

Un elemento sustancial que ha contribuido con fuerza al crecimiento del tráfico aéreo en Colombia ha sido el turismo. Por su propia naturaleza los flujos turísticos se caracterizan por la menor regularidad de los desplazamientos y su concentración estacional, a lo largo del año; a la vez que se ve sometido a las coyunturas variables del mercado.

4.1 EL TRANSPORTE AÉREO COMERCIAL

Las normas aeronáuticas califican el transporte aéreo como un servicio público y lo clasifican bajo diferentes criterios. Según la permanencia del servicio se divide en regular y no regular. Es regular el servicio de transporte aéreo que se presta con arreglo a tarifas, condiciones de servicio y horarios fijos anunciados al público; mientras que el servicio de transporte aéreo no regular no está sujeto a estas condiciones. Por mandato de la misma ley, los servicios regulares tienen una preferencia frente a los no regulares, pues representan una opción permanente en el tiempo para el usuario, garantizándole a través del itinerario anunciado al público y a través de las tarifas, una opción de transporte futuro y estable. En cambio, los servicios no regulares, al no estar sujetos a estas características de servicio y permanencia, pueden ejercerse bajo el criterio de no representar una competencia indebida a los servicios regulares, es decir, las normas plantean un claro criterio de protección o preferencia al servicio regular frente a un servicio esporádico. Es este el sentido de la Ley Colombiana cuando señala que las empresas de servicios regulares tendrán prioridad para que se les autorice operar vuelos no regulares en las rutas autorizadas.

Bajo este marco institucional, los servicios de transporte aéreo regular han representado históricamente la mayor proporción de la actividad comercial de transporte aéreo en Colombia, como lo reflejan las estadísticas de tráfico de personas movilizadas, el movimiento de aeronaves (operaciones aéreas) o la información financiera de las empresas dedicadas a la actividad de transporte aéreo en Medellín.

Otros criterios de clasificación del transporte aéreo comercial toman en cuenta el ámbito geográfico de las rutas servidas, dividiéndolo en doméstico cuando solo se refiere a rutas dentro del territorio nacional e internacional cuando comprende rutas hacia o desde puntos situados fuera de Colombia. La reglamentación aeronáutica trae otras subdivisiones del transporte aéreo comercial, tales como los servicios combinados de pasajeros, carga y correo, los servicios exclusivos de carga, los servicios de aerotaxi y los servicios de transporte aéreo regional.

4.2 LA DEMANDA DE TRANSPORTE AÉREO

Existen factores de distinta naturaleza que, con carácter general afectan tanto a los niveles como al crecimiento de la demanda de servicios aéreos. Podemos clasificarlos de la siguiente manera: Factores estructurales, económicos y de calidad de los servicios.

4.2.1 Factores estructurales

Entre los factores estructurales podemos distinguir los siguientes; población, distancia, modos alternativos de transporte, y sistemas de rutas establecidos.

Población:

Es obvio que la dimensión del mercado, medida por la población, influye en la demanda de transporte aéreo. Aunque existan discusiones acerca de la cuantificación exacta de dicha influencia (Fridström y Thune-Larsen, 1989; Fleming y Ghobrial, 1994; Rendarajv y Thamizh- Arasan, 1992) es indudable que tanto el tamaño como la estructura de la población influyen en la demanda.

Ahora bien, conviene recordar que el tamaño de la población no define, con carácter absoluto, el nivel de demanda de servicios aéreos. No sólo es necesario considerar la existencia de otros factores relevantes, sino que la propia composición de la población influye en la demanda efectiva de transporte aéreo: es oportuno detenerse en las características de las familias que componen la población. Una reducción del tamaño familiar combinado con un aumento de los ingresos, gracias a la actividad laboral de ambos cónyuges, estimula la utilización del transporte aéreo como medio de desplazamiento. Incluso, cabría considerar el nivel educativo de la familia. Por ejemplo, el fomento de la movilidad estudiantil a todos los niveles y, especialmente, universitario puede relacionarse con la demanda de servicios aéreos.

Desde otro punto de vista, algunas restricciones institucionales pueden condicionar la actitud de la población hacia los viajes aéreos. Aspectos tales como la duración de las vacaciones o como la consideración social de los viajes pueden ser decisivos.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

En resumen, el tamaño de la población, su composición por edades, las características de la familia que la componen y las restricciones socioculturales influyen sobre la demanda de servicios aéreos que determinadas zonas pueden ejercer.

Distancia:

A medida que crece la distancia a recorrer crece también la ventaja del transporte aéreo frente a otros medios de transporte. De hecho, los beneficios que proporciona la rapidez del desplazamiento en avión han provocado que haya desaparecido, prácticamente, para viajes de media y larga distancia, la competencia con otros medios de transporte. En consecuencia, cabría suponer que la demanda de transporte aéreo crece con la distancia que se pretende recorrer.

Es así como la distancia y la demanda de transporte aéreo se relaciona positivamente gracias a que el avión, a partir de determinado umbral, gana en conveniencia frente a otros medios de transporte.

Tomando en cuenta lo anterior se ha tratado de establecer, en el plano teórico, la distancia óptima para la utilización del avión en un viaje sin escalas. Según Russon (1990) serían unos 600 km en Europa, se considera en el continente americano una distancia menor.

Tipos de red

Los tipos de redes, establecidos a partir de los sistemas de rutas diseñados por las compañías aéreas, influyen en la demanda de tráfico aéreo. Si la tendencia es hacia la consolidación de los sistemas radiales de rutas frente a los enlaces directos, habría que valorar hasta qué punto la demanda se ve desanimada por la exigencia de hacer escala en los aeropuertos-eje cuando se quiere alcanzar determinados destinos. Con la información disponible es muy difícil valorar hasta qué punto la demanda se ve afectada por los inconvenientes que crea la realización de escalas. Es innegable que la prolongación del viaje debido a los tiempos de espera y las molestias que genera los trasbordos afecta negativamente a la demanda.

Sin embargo, la puesta en marcha de los sistemas radiales de rutas garantiza un umbral mínimo para que algunas rutas alcancen la densidad suficiente para ser rentables. Dicho en otros términos, algunos puntos sólo podrían unirse por medio de una escala ya que, de otro modo, un enlace directo no resultaría económicamente viable para las compañías.

4.2.2 Factores económicos

Entre los factores económicos se destaca la renta y los precios. Algunos estudios a nivel agregado han demostrado una elasticidad relativamente más elevada de la demanda de transporte aéreo respecto al Producto Nacional Bruto (PNB) que en relación con los precios. Es decir, la demanda de viajes en avión sería mucho más sensible a las

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

variaciones de la renta que a las variaciones de las tarifas. Concretamente, se ha estimado que un crecimiento del 1% del PNB implica una variación entre el 1% y el 2% de la demanda en servicios aéreos; mientras que un aumento del 1% de las tarifas se traduce, por término medio, en una reducción entre el 0,5 y el 1% de la demanda. En este contexto, los viajes por motivos de negocio parecen ser más insensibles a las variaciones de renta y precio que los viajes de placer (Doganis, 1991, páginas 220-229), con lo anterior se introduce el concepto de elasticidad por medio de la cual se cuantifica la variación experimentada por una variable al cambiar otra.

Renta:

Existe una estrecha relación entre la evolución de la producción y la demanda de transporte aéreo. A medida que crece el nivel de actividad económica aumenta la demanda de viajes de negocios y, a través del crecimiento de la renta personal, también crece la demanda de viajes para hacer turismo. Los ajustes econométricos realizados muestran una tendencia al estancamiento en la demanda de vuelos per cápita a partir de un determinado nivel de ingreso por persona.

Además, existen algunas evidencias básicas que se derivan de la teoría económica más elemental: cuando crece la renta personal los individuos gastan más en bienes y servicios menos esenciales, entre los que se encuentra el transporte. Entre los distintos modos de transporte, el aéreo es el que proporciona, en caso de distancias elevadas, un viaje más conveniente; por ello, a pesar de que en algunos casos puede ser más costoso, resulta, asimismo, que su competitividad y, por tanto, su demanda, crece cuando se eleva la renta. En otros términos, los incrementos de renta inducen una progresión cada vez mayor en los viajes aéreos.

Precio del tiquete:

El factor económico clave proveniente del transporte aéreo es la ganancia recibida por los pasajeros y por las aerolíneas mismas. Obviamente, los pasajeros están dispuestos a pagar la tarifa aérea, pero un gran número de pasajeros también valorarán el viaje mucho más allá del costo de la tarifa, por el placer de la visita del turista o por el valor del contacto de negocios alcanzado mediante el viaje. Los economistas llaman al valor recibido sobre y por encima de los costos de la tarifa, excedente al consumidor.

Resulta conveniente conocer cómo afectan los precios al consumo de viajes aéreos. Para las compañías aéreas es fundamental segmentar el mercado para maximizar sus ingresos. En particular, la relativa inelasticidad de los viajes de negocios respecto a los precios permite a las compañías aplicar tarifas mayores a este tipo de viajes.

Para un país como Colombia, las conexiones de transporte aéreo a los mercados claves son vitales para el desarrollo y crecimiento económico a largo plazo. Así, es importante introducir o expandir rutas hacia destinos principales dentro de la red global de transporte aéreo.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

En Colombia existe control sobre el máximo de las tarifas y sobre algunos componentes adicionales, que conforman el precio final pagado por el usuario. Para vuelos nacionales, este precio se divide en cinco componentes: Tarifa publicada de la aerolínea, cargo por combustible (PR), tarifa administrativa (TA), IVA y tasa aeroportuaria; en el caso de los vuelos internacionales, además de los anteriores se agrega el impuesto de salida para residentes y el impuesto al turismo para extranjeros. La tabla 1 muestra la estructura tributaria del tiquete que paga un usuario calculado en porcentaje, donde se indica que porcentaje del costo del tiquete corresponde a la aerolínea, al aeropuerto y al gobierno

El significativo aumento de la oferta de sillas presentado a lo largo del año 2010 y durante 2011, creó una coyuntura de “competencia intensiva de tarifas” generándose una gama variada de tarifas promocionales por cada ruta, lo que dificulta estimar un promedio representativo del comportamiento de las tarifas aéreas en Colombia. En efecto, si bien en el mercado el público tiene a su disposición un rango de tarifas ejecutivas (clase J), normales sin restricciones (clase Y) y tarifas promocionales (Clase S), bajo la coyuntura de grandes descuentos observada a lo largo del 2010, la proporción de ventas de las tarifas clase J y Y disminuyó, en especial en el mercado doméstico, concentrándose la demanda mayoritariamente en la gama de tarifas promocionales. Sin embargo, en los primeros meses de 2011, se observó una estabilización de la oferta en el mercado doméstico y una normalización relativa en el desempeño tarifario, afectado además por el sensible aumento en el precio del combustible.

Tabla 1. Estructura tributaria del precio de un tiquete aéreo

Tributación aerolínea en costo silla (17%)	11.2%
IVA (16%)	12.9%
Tasa aeroportuaria	3.6%
Pagos al Gobierno	27.7%
Pagos a la aerolínea	72.3%
Precio final al pasajero	100%

Fuente: Estudio Económico de transporte aéreo en Colombia. ATAC

Existen de manera general dos tipos de consumidores del modo aéreo: ejecutivos y turistas. Estas demandas, aunque son función de las mismas variables, tienen elasticidades-precio muy diferentes. Por un lado, la demanda por vuelos de los que viajan por negocios depende de manera importante de las particularidades de cada aerolínea en cuanto a rutas, frecuencia de vuelos, horarios, puntualidad, calidad del servicio.

Por otro lado están los turistas, que aunque también consideran las características de la aerolínea, la decisión de compra se hace basándose sobre todo en el precio del tiquete, ya que asumimos que la elasticidad-precio es mucho más alta. Estos dos tipos de demanda implican que las aerolíneas pueden tener mayor poder de mercado en unos segmentos del mercado que en otros. Incluso cuando una ruta es competitiva, las

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

aerolíneas compiten por el segmento con elasticidad-precio alto en el mercado, manteniendo el poder de mercado en el otro segmento.

4.2.1 Calidad del servicio

Uno de los indicadores que definen la calidad de los servicios se refiere a los niveles de frecuencia. El tiempo medio que un pasajero espera para viajar disminuirá y, por tanto, la calidad del servicio aumentará, a medida que el número de frecuencias sea mayor. Con esta premisa, habría que valorar hasta qué punto los inconvenientes que surgen cuando se obliga al viajero a realizar una conexión en un aeropuerto-eje se ven compensados por el incremento en la frecuencia de vuelos que suele conllevar la adopción de sistemas radiales de rutas.

Por otro lado, habría que admitir una relación inversa entre el número de vuelos operados y el tamaño del avión. En este sentido, la demanda de tráfico aéreo se ha demostrado más sensible a la frecuencia que al tamaño del avión (Pickrell, 1984; Ghobrial, 1993). Esto ayuda a explicar el hecho de que, en muchas ocasiones, las compañías aéreas establecidas en determinadas rutas opten por aumentar la frecuencia de vuelos, frente a otro tipo de estrategias (por ejemplo de reducción de tarifas), para defenderse de la entrada de nuevos competidores (Hanlon, 1996).

4.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS AEROPUERTOS

4.3.1 Aeropuerto Enrique Olaya Herrera

El Aeropuerto Enrique Olaya Herrera es un aeropuerto colombiano ubicado en el sur-occidente de la ciudad de Medellín, el cual atiende vuelos regionales y nacionales. Adicionalmente, es el aeropuerto con más hangares y aviación general en Colombia. Debido a la gran cantidad de aviación general y vuelos chárter, regionales y nacionales, el Olaya Herrera es el segundo aeropuerto con más tráfico aéreo en Colombia. Actualmente es considerado el principal aeropuerto regional del país, debido a la gran cantidad de vuelos regulares y chárter de este tipo operados desde y hacia dicho aeropuerto. En la tabla 2 se indica la ubicación y las características físicas del aeropuerto EOH.

Antes de la construcción del Aeropuerto Internacional José María Córdova, situado en el municipio de Rionegro, Antioquia, 29 kilómetros al oriente de la ciudad de Medellín, el aeropuerto EOH era el que cubría las rutas internacionales

Entre los dos aeropuertos de Medellín, se movilizan más de 2,3 millones de pasajeros al año, lo que la convierte en la segunda ciudad colombiana con más tráfico de personas de Colombia, después de Bogotá.

El aeropuerto ya no tiene su clasificación de Aeropuerto Internacional y solo operan vuelos nacionales y regionales. Actualmente existen restricciones sobre el tipo de

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

aeronaves que operan desde el Olaya Herrera, debido a su clasificación de aeropuerto regional, sólo pueden operar aviones comerciales de 50 pasajeros o menos con excepción de la aerolínea estatal Satena que transporta a 76 en aviones E170.

La plataforma principal tiene capacidad para más de 30 aviones, el aeropuerto cuenta con una amplia zona comercial con establecimientos bancarios, oficinas y tiendas de todo tipo, una plaza de comidas, 11 counters dobles de check-in de aerolíneas.

El aeropuerto fue junto con otros cinco aeropuertos entregado en concesión a un operador privado para que los administre, el cual desarrolló obras de reacondicionamiento total de la terminal, la reparación de la pista y plataforma, implementación se nuevos sistemas de seguridad, ampliación y remodelación de las salas de espera y bandas de entrega de equipaje, construcción de una nueva torre de control en el costado occidental, construcción de un terminal para aviación ejecutiva, nuevas zonas comerciales, entre otras.

La tabla 2 muestra las características técnicas y físicas del aeropuerto Enrique Olaya Herrera ubicado en la ciudad de Medellín.

Tabla 2. Características técnicas del aeropuerto EOH

Latitud	06° 13' 02.73" N
Longitud	075° 35' 27.30" W
Municipio	Medellín
Tipo de Uso	Civil / Nacional
Categoría	A, B y C
Código IATA	EOH
Horario de operación	12 Horas
Elevación Sobre el Nivel del Mar	1506 Metros
Material de la Pista	Concreto Asfáltico
Sistema de Aterrizaje	por Instrumentos
Dimensiones de la Pista	2510 metros de largo por 45 metros de ancho

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas 3 y 4 se indican cada uno de los destinos a los cuales se puede llegar desde el EOH, así como las aerolíneas que prestan este servicio, en general este aeropuerto tiene más vuelos regionales que nacionales

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
 Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 3. Destinos desde el EOH

Trayecto	Destino
Regionales	Apartado Caucasia El Bagre Otu-Remedios
Nacionales	Acandí Armenia Bahía Solano Barranquilla (vía CZU) Bogotá Bucaramanga Cali Capurgana Cartagena (vía MTR) Condoto Corozal Cúcuta Ibagué Manizales Montería Nuqui Pereira Quibdó Tolú Valledupar (vía CZU)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4. Aerolíneas que operan desde el EOH

Tipo	Aerolínea
De Pasajeros	Aerolíneas de Antioquia Aexpa Aires (Lan) EasyFly Satena
De Carga	Searca

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Aeropuerto José María Córdova

Luego en los años 70 se vio la necesidad de un aeropuerto de gran tamaño para la ciudad, debido a la saturación y las limitaciones del Olaya Herrera, además para que no estuviera dentro de la ciudad

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Este aeropuerto es el más importante en el departamento de Antioquia, sirve al Área Metropolitana y/o Valle de Aburrá y, en términos de infraestructura, segundo después del Aeropuerto Internacional El Dorado de Bogotá.

La terminal de pasajeros, construida en aluminio y acrílico tiene un área de 25000 metros cuadrados y tiene tres plantas, la primera para la recogida de pasajeros, la segunda siendo la principal y usada para embarque de pasajeros y la tercera usada para restaurantes, además de ser uno de los pocos Aeropuertos en Colombia con terrazas de observación para los aficionados a la Aviación, a pesar de que su uso ha sido muy limitado en los últimos tiempos. Tiene una plataforma de 100.000 metros cuadrados y un área de carga de 20.000 metros cuadrados.

El Aeropuerto ha sido polo de desarrollo del sector en donde fue construido, teniendo industrias y servicios afines en sus alrededores como hoteles, zona franca, combustibles, entre otros.

Cuenta con servicio de las principales Aerolíneas Colombianas desde y hacia las principales ciudades del país, además de ser el núcleo de todo el servicio internacional que recibe la ciudad de Medellín. También es la sede de los cuarteles principales de Tampa Cargo, Aerolínea que construyó su propio hangar en las inmediaciones de la terminal de carga.

Tal como indica la tabla 5 este aeropuerto tiene un uso civil y militar por lo cual comparte su pista con el Comando Aéreo de Transporte número 5 de la Fuerza Aérea Colombiana (CACOM 5), cuya plataforma y estructura queda al otro lado de la pista con respecto de la terminal de pasajeros.

Tabla 5. Características técnicas del aeropuerto JMC

Latitud	06° 09' 52.33" N
Longitud	075° 25' 23.23" W
Municipio	Rionegro
Tipo de Uso	Civil y Militar / Nacional e Internacional
Categoría	A, B, C y D
Código IATA	MDE
Horario de Operación	24 Horas
Elevación Sobre el Nivel del Mar	2.142Metros
Material de la Pista	Concreto Asfáltico
Sistema de Aterrizaje	Por Instrumentos
Dimensiones de la Pista	3.500 metros de largo por 45 metros de ancho

Fuente: Elaboración Propia

El Aeropuerto fue dado en concesión por el gobierno a la firma Operadora de Aeropuertos Centro-Norte - Airplan, empresa que ha realizado trabajos de remodelación de la terminal

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

principal al agregar nuevas puertas de embarque, nuevos counters y otras reformas estructurales.

Los aeropuertos Olaya Herrera y José María Córdova contarán con sistemas de chequeo compartido para las aerolíneas (CUTE), que consiste en que los counters no serán de uso dedicado como se venía operando sino que se hará una programación con las aerolíneas para un mejor uso de este sistema. Este es el sistema más utilizado en los aeropuertos del mundo.

Tabla 6. Destinos desde el JMC

Trayecto	Destino
Nacionales	Barranquilla Bogotá Cali Cartagena San Andrés Santa Marta
Internacionales	Caracas Ciudad de Panamá Curazao Fort Lauderdale Lima Madrid Miami New York Quito San José de Costa Rica

Fuente: Elaboración Propia

Los destinos nacionales citados en la tabla 6, corresponden a sólo vuelos directos, aunque desde este aeropuerto se puede llegar a otros destinos realizando escala en otras ciudades

En esta terminal se presenta gran flujo de carga, dicho servicio es realizado por las aerolíneas citadas en la tabla 7.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 7. Aerolíneas que operan desde el JMC

Tipo	Aerolínea
Colombianas	Aerorepública (Copa) Avianca Aires (Lan)
No Colombianas	American Air lines Taca Lan Spirit Airlines Insel Air
Cargueras Colombianas	Tampa. Cargo LíneasAéreas Suramericanas Eurosucre S.A. Lan Cargo
Cargueras No Colombianas	Florida West Cielos de Perú Mas Air Master Top Airlines

Fuente: Elaboración Propia

4.4 ESTADISTICAS DEL TRANSPORTE AÉREO

Los resultados obtenidos de las estadísticas del transporte aéreo nos permite visualizar el comportamiento del mismo y con esto evaluar el crecimiento de este medio de transporte

4.4.1 Comportamiento del tráfico aéreo en Colombia

Tal como indica la tabla 8, el año 2010 presenta niveles significativos de crecimiento del tráfico aéreo en todos sus componentes.

Tabla 8. Indicadores del tráfico aéreo en Colombia

Tráfico Anual	Nacional			Internacional		
	2009	2010	Var%	2009	2010	Var%
<i>Pasajeros O-D (miles)</i>	10.157	13.235	30.3%	5.523	6.161	11.5%
<i>Oferta de sillas (miles)</i>	17.367	20.548	18.3%	8.670	9.370	8.1%
<i>Pasajeros a bordo (miles)</i>	12.062	15.650	29.7%	6.154	6.810	10.7
<i>Factor Ocupación Pax</i>	69%	76%		71%	73%	
Tráfico Anual	Nacional			Internacional		
	2009	2010	Var%	2009	2010	Var%
<i>ASK (millones)</i>	7.101	8.579	20.8%	23.189	25.157	8.5%
<i>RPK (millones)</i>	5.050	6.581	30.3%	17.623	19.686	11.7%
<i>Factor de ocupación Pax</i>	71%	77		76%	78%	

Fuente: Boletín Económico mensual. ATAC

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

El mercado doméstico aumenta en el 2010 30.3% respecto al año anterior, movilizándolo un máximo histórico de 13.2 millones de pasajeros anuales; el mercado internacional movilizó cerca de 6.2 millones de pasajeros, creciendo 11.5% en un año.

El factor de ocupación durante el 2010 en el tráfico de pasajeros (relación entre los pasajeros a bordo de un vuelo y las sillas ofrecidas en el mismo) presentó un aumento tanto en el mercado nacional, pasando de 69% en 2009 a 76% en 2010, como en el mercado internacional donde creció de 71% a 73%.

Adicionalmente se incluye un cálculo de los indicadores estándar de la industria en términos de distancia, conocidos como ASK (Asientos Kilómetro Disponibles) para medir la oferta de sillas, y RPK (Pasajeros Kilómetro Pagos) para medir la demanda de pasajeros. La relación entre ellos permite conocer un factor de ocupación más preciso, que en 2010 fue del 77% para el mercado doméstico y del 78% para el internacional, evidenciando que las rutas de mayor distancia operaron con mayores factores de ocupación.

4.1.2 Comportamiento del tráfico aéreo en los aeropuertos JMC y EOH

El año 2010 se comportó con significativos niveles de crecimiento en el movimiento de pasajeros, estos valores incluyen salidas y llegadas de pasajeros. En la tabla 9 se muestran variaciones significativas del 29.7% para el aeropuerto JMC, caso contrario se observa en el EOH, el cual pasa a tener una disminución de movimiento de pasajeros en aproximadamente 3%. En el movimiento de aeronaves se aprecia el aumento con respecto al año 2009 que tiene el aeropuerto EOH, dicho comportamiento no ocurre en el aeropuerto JMC el cual tiene una disminución en movimiento de aeronaves de casi 13%, situación que puede ser explicada por la operación de aeronaves para gran número de pasajeros.

Tabla 9. Tráfico de pasajeros y aeronaves en los aeropuertos JMC y EOH

AEROPUERTO	Movimiento de aeronaves			Movimiento de pasajeros		
	2009	2010	Var%	2009	2010	Var%
JMC	56499	49058	-13.2	2758476	3578212	29.7
EOH	75281	78612	4.4	1059733	1028304	-3.0

Fuente Aeronáutica Civil de Colombia. Estadísticas tráfico de aeropuertos Mayo de 2011

Los principales destinos descritos en la tabla 10 corresponden a vuelos directos realizados desde cada aeropuerto a las ciudades de Bogotá, Barranquilla y Cali

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla10. Tráfico de pasajeros hacia principales destinos en los aeropuertos JMC y EOH

ORIGEN	DESTINO	2006	2007	2008	2009	2010
EOH	BARRANQUILLA	3508	8921	12764	3975	7323
EOH	BOGOTA	76589	101236	138666	97246	78562
EOH	CALI	15141	17141	25920	20660	18468
JMC	BARRANQUILLA-E.	36789	36835	33562	42173	58122
JMC	BOGOTA	556013	552459	520263	618563	851666
JMC	CALI -	69388	70372	65250	67908	93324

Fuente. Aeronáutica civil de Colombia. Pasajeros por ruta 2006-2010

La ruta con mayor flujo de pasajeros en los dos aeropuertos en el 2010 es hacia Bogotá, representando la mayor proporción la salida por el JMC con un 92 % según se ilustra en la Figura 1

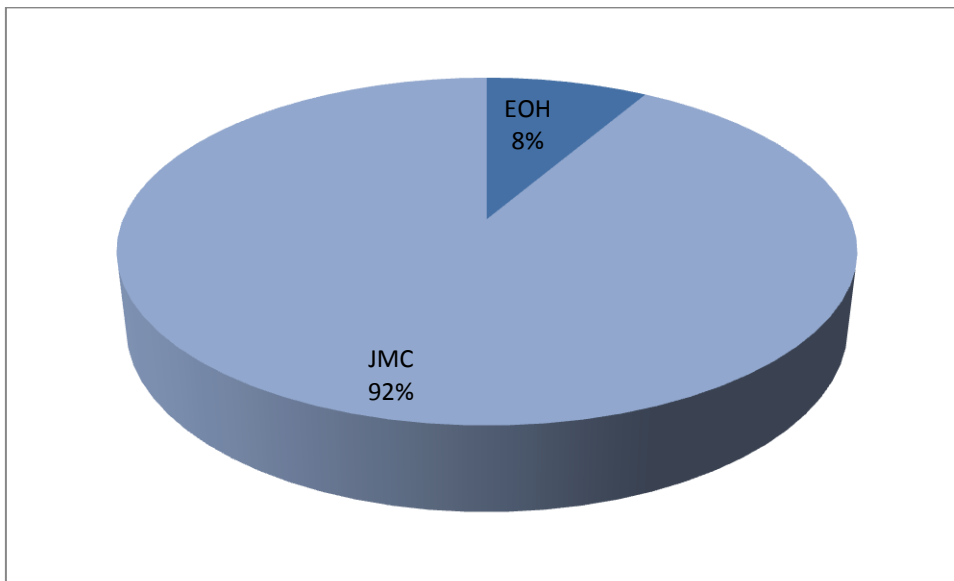


Figura 1. Movimiento de pasajeros en el 2010 con destino a Bogotá

En las Figuras 2 y 3 se puede observar que el aeropuerto JMC mueve entre 83% y 89% de pasajeros del total de usuarios con destinos a las ciudades de Cali y Barranquilla

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

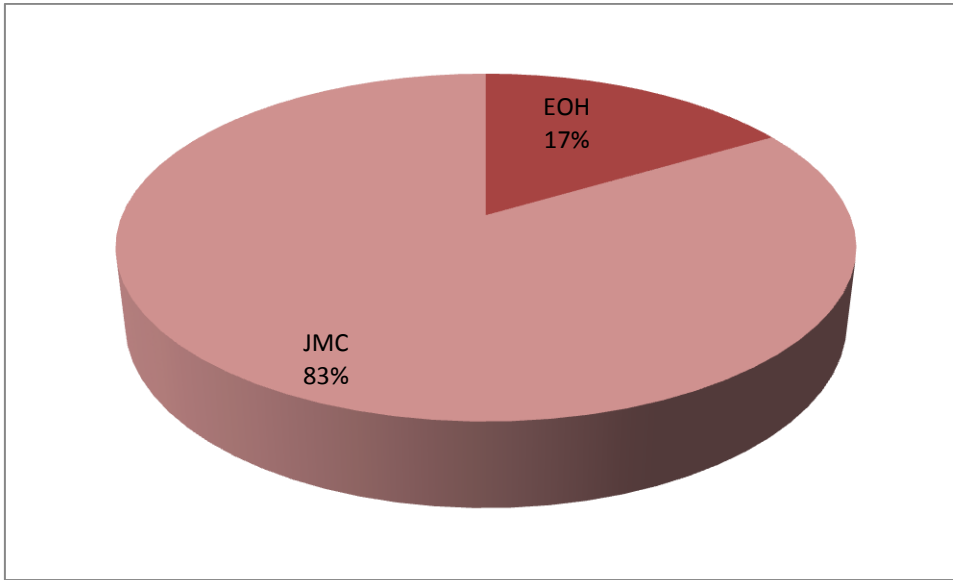


Figura 2. Movimiento de pasajeros en el 2010 con destino a Cali

La ruta hacia Barranquilla ilustrada en la figura 3, indica que en el 2010 se presentó un aumento en el número de pasajeros, ya que satena comenzaba a operar la en el mismo año con vuelo directo y no como hacia en años anteriores otras aerolíneas las cuales realizaban escala en Montería o Corozal

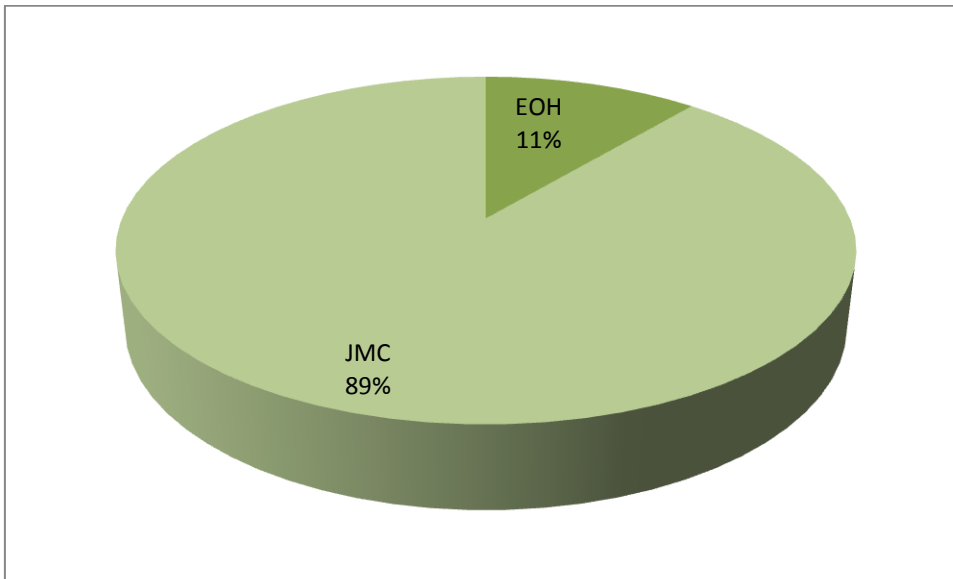


Figura 3. Movimiento de pasajeros en el 2010 con destino a Barranquilla

5. METODOLOGÍA

5.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La revisión bibliográfica se compone de documentos e informes de algunos estudios realizados en otras regiones. Estos documentos fueron analizados en cuanto a la metodología utilizada para el logro de los objetivos propuestos en cada uno de los estudios mencionados. Además, se revisaron algunos artículos académicos acerca de metodologías específicas para el desarrollo y aplicación de modelos de elección discreta los cuales son alimentados con datos obtenidos de las encuestas de preferencias declaradas.

5.2 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

En este punto se hace referencia al acopio de la información disponible en cada uno de los aeropuertos involucrados en el estudio; además de las estadísticas publicadas por la aerocivil. Se investiga las aerolíneas que ofrecen el servicio desde cada escenario, rutas, itinerarios, capacidad de cada aeropuerto, vías de acceso a las terminales aeroportuarias, flota de aviones, tiempo de viaje, tiempos de espera, medios de transporte disponibles para acceder a cada central aeroportuaria.

5.3 ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

De forma casi paralela al trabajo de recolección de la información, se analizará el estado de la misma con el fin de tamizar y obtener la información y aspectos de interés para el estudio en cuestión con la cual puedan identificarse los métodos y técnicas específicos que arrojen resultados óptimos.

5.4. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES

A partir de la información obtenida, se determinan cuáles son las variables que influyen en la elección del aeropuerto, esto se realizará por medio de un grupo focal, del cual se extraerá todas las variables relevantes para ser incluidas en el diseño de la encuesta.

5.5. REALIZACIÓN DE LAS ENCUESTAS

- Se tomará la información antes consultada para ser analizada.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

- Se analizarán las variables relevantes que influyen en la elección de aeropuerto de acuerdo a la experiencia reportada en la revisión bibliográfica y al análisis de la situación particular de la región estudiada. Se diseñarán las encuestas siguiendo las metodologías recomendadas por autores que las han ensayado con éxito, y se entrenará a un grupo de personas con el objeto de que sean aplicadas correctamente.
- Antes de su aplicación se harán varios ensayos piloto con tal de depurar el procedimiento y la presentación gráfica de las encuestas ya que la técnica a utilizar recomienda que las opciones presentadas sean ilustradas para una mayor comprensión de la situación planteada en la encuesta.
- Se realizarán estas encuestas aplicando técnicas de preferencias declaradas con el fin de detectar las preferencias de los usuarios al escoger por cuál aeropuerto realizar su viaje incluyendo los costos, tiempos y demás variables. El número de encuestas se definirá a lo largo del desarrollo del trabajo.

5.6 FORMULACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL MODELO

Se desarrollará varios modelos los cuales finalmente se evaluarán utilizando un ranking, mediante el cual el modelo que más se aproxime a los parámetros de bondad de ajuste requeridos, será el elegido como aquel definitivo en la investigación.

Para la obtención de los modelos en los destinos Bogotá y Cali, se desarrollará una metodología de modelación con base en encuestas de preferencias declaradas, bajo la teoría matemática y estadística de los modelos logit multinomial y logit mixto.

Para este fin se utilizará la herramienta informática Biogeme versión 1.7, la cual se encuentra disponible de manera gratuita en Internet.

(<http://transp-or.epfl.ch/page63023.html>)

6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MARCO TEÓRICO

Los modelos de transporte constituyen el núcleo de los procesos de planeación de una región. Es una herramienta que permite cuantificar cualquier escenario futuro que se pueda pensar por los tomadores de decisiones. En tal sentido, es necesario que esta herramienta sea muy transparente y que inspire confianza en los resultados para que la toma de decisiones sea la más adecuada para la ciudad.

6.1 MODELO DE TRANSPORTE

El objetivo de un sistema de transporte es satisfacer la demanda mediante la provisión de una oferta adecuada que responda a sus exigencias. Los servicios de transporte surgen como consecuencia de la necesidad que tienen los individuos de realizar actividades que implican desplazamientos; por ejemplo, ir al trabajo, llevar los niños al colegio, ir de vacaciones, ir a otra ciudad, etc. Por esta razón se dice que la demanda de transporte es derivada. En general, no se demanda viajar sino con el objeto de realizar alguna actividad localizada en el espacio y en el tiempo. Estamos, por tanto, ante una demanda cualitativa y diferenciada en el sentido de que existen viajes por múltiples motivos, a distintas horas del día y que pueden realizarse en distintos modos de transporte. En lo que respecta a la oferta, nos encontramos con un servicio que no puede ser almacenado para ser ofertado, por ejemplo, en períodos donde existe una mayor demanda. Se produce, por tanto, un desequilibrio entre la cantidad ofertada y la demandada debido a la existencia de períodos con mayor nivel de demanda (hora pico) y períodos con menores niveles de demanda (hora valle); además, la demanda se encuentra localizada en un espacio, que se va ampliando con cierta celeridad, lo que suele producir problemas de coordinación que afectan al equilibrio del sistema.

Para satisfacer de forma eficiente la demanda de transporte es necesaria la planificación en el corto y largo plazo con un conocimiento bueno y preciso de los distintos atributos que la determinan.

En segundo lugar, existe una segregación entre el proveedor, generalmente público, de la infraestructura y el operador de la misma, lo que implica la necesidad de una regulación que defina los estándares del servicio de transporte que se desea ofrecer.

Por último, la operación del servicio de transporte está asociada a determinadas externalidades, situación en la cual los costos o beneficios de consumo del servicio aéreo no son reflejados en el precio de mercado

Los argumentos expuestos justifican la importancia de realizar estudios de demanda que permitan evaluar los proyectos de transporte de la manera más completa, en el sentido de que sea factible analizar de forma conjunta los aspectos de la demanda y de la oferta con el fin de conocer el efecto de futuras políticas de transporte que puedan introducirse (por

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

ejemplo, variación de algunos atributos de alternativas ya existentes o la introducción de nuevos modos de transporte).

“La modelización de la demanda de transporte se ha basado tradicionalmente en el empleo de dos tipos de modelos: los modelos agregados o de primera generación y los modelos desagregados o de segunda generación. Los primeros fueron utilizados mayoritariamente en los estudios de transporte hasta finales de los años 70. Estos modelos emplean datos agregados. La agregación de los datos presenta algunos inconvenientes. En primer lugar, es necesario disponer de una cantidad de datos importante ya que cada observación resulta de la obtención de un promedio de un cierto número de datos individuales. En segundo lugar, la existencia de sesgo entre las unidades agregadas es más probable que en los modelos desagregados. La conducta individual puede ser ocultada por características no identificadas asociadas a la zona.” (Ortúzar, 2000)

“Por su parte, los modelos desagregados comienzan a ser populares en los años 80 por el hecho de que presentan ciertas ventajas sobre los modelos utilizados hasta el momento. Este tipo de modelos, se basa en el uso de los datos a nivel individual, lo que permite una mejor comprensión de los comportamientos de viaje, puesto que se basan en las teorías de la elección individual. Las ventajas que presenta este tipo de modelo respecto a los de primera generación son varias. En primer lugar, el hecho de utilizar cada dato individual como una observación hace que sea más eficiente en el uso de la información en que los modelos agregados. En segundo lugar, ocupan toda la variabilidad de la que se dispone con los datos individuales. En tercer lugar, los resultados de los modelos a nivel individual pueden ser utilizados a cualquier nivel de agregación. En cuarto lugar, la estimación de los parámetros para cada una de las variables explicativas consideradas en el modelo es explícita, lo que deriva en cierta flexibilidad para representar las variables; además, los parámetros estimados tienen una interpretación directa en términos de la importancia relativa de cada variable explicativa considerada en la elección. Y finalmente, se trata de modelos más estables en el tiempo y en el espacio.” (Ortúzar, 2000)

En los modelos desagregados la obtención de los datos puede realizarse mediante el uso de la técnica de preferencias reveladas (PR) o bien mediante la técnica de preferencias declaradas (PD). En ambos casos el objetivo último de la entrevista es obtener información sobre la valoración relativa que hace el entrevistado de los atributos de transporte. (Ortúzar, 2000)

6.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE UN MODELO DE TRANSPORTE

6.2.1 Consideraciones generales

En esta sección se considera el estudio de la demanda por transporte desde dos puntos de vista: por una parte la recolección, tratamiento y validación de la información necesaria

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

para intentar modelar la demanda, y por otro las técnicas de modelación más apropiadas para tratar problemas que involucren viajes en transporte aéreo.

Antes de entrar de lleno a estos temas, es conveniente mencionar algunas características importantes de la demanda y oferta de transporte, en general, a fin de comprender en mejor forma el tipo de técnica de modelación y recolección de datos que sea más adecuada en cada caso.

- El transporte es un bien altamente cualitativo y diferenciado: existen viajes por distintos propósitos, a diferentes horas del día, por diversos medios. Esto implica una enorme cantidad de factores difíciles de analizar y cuantificar (pensar en problemas de seguridad o comodidad, por ejemplo). Un servicio de transporte sin los atributos que permitan satisfacer esta demanda diferenciada puede ser completamente inadecuado.
- La demanda por transporte es “derivada”: los viajes se producen por la necesidad de llevar a cabo ciertas actividades (ejemplo: trabajo, recreación).
- La demanda por transporte es eminentemente dinámica: hay pocas horas para realizar las distintas actividades; desde el punto de vista de la oferta, el hecho de que el transporte sea un servicio tiene la importante consecuencia que no se puede acumular reservas (stock) a ser utilizadas en períodos de mayor demanda. Así, si el servicio de transporte no se consume cuando es producido, sencillamente se pierde. Esto suele generar problemas en los períodos pico en que hay gran demanda, y desequilibrios respecto a períodos valle con menores requerimientos.
- Para satisfacer la demanda por transporte aéreo, es necesario proveer infraestructura y disponer de aviones, que operen de acuerdo a ciertas reglas de operación, a fin de otorgar el servicio.
- La provisión de infraestructura de transporte es especialmente importante desde el punto de vista de la oferta, y se representa por su carácter discreto, esto es, no tiene sentido proveer media pista de aterrizaje, o un tercio de una estación, si bien en algunos casos cierta gradualidad es posible, luego mejorar el trazado e incorporar más pistas y finalmente pavimentarlo. Desgraciadamente esto es mucho más difícil en el caso de aeropuertos, líneas de metro y otras obras de esta naturaleza.
- La inversión en infraestructura toma largo tiempo en construirse ya que generalmente se trata de proyectos importantes que requieren de gran cantidad de recursos. No es raro que la construcción de una instalación importante tome de 5 a 15 años desde su etapa de planificación a su completa implementación. Esto significa que los estudios conducentes a tomar decisiones deban hacerse con extremo cuidado y procurando evitar quedar atrapados con planes maestros o soluciones rígidas que no puedan ser adaptadas a las condiciones cambiantes; además, como los proyectos también se caracterizan por su larga vida útil, las proyecciones de flujos deben hacerse a muchos años de plazo complicando considerablemente el análisis.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

6.2.2 Técnica de preferencias declaradas

Se denominan técnicas de preferencias declaradas a un conjunto de metodologías que se basan en juicios (datos) declarados por individuos acerca de cómo actuarían frente a diferentes situaciones hipotéticas que le son presentadas y que deben ser lo más aproximadas a la realidad (Ortúzar, 2000). Estas técnicas utilizan diseños experimentales para construir las alternativas hipotéticas presentadas a los encuestados. A partir de allí se obtienen datos que permiten estimar funciones de utilidad con respecto a las alternativas presentes en el experimento.

Las alternativas de elección presentadas a los encuestados son descripciones de situaciones reales.

Las técnicas de preferencias declaradas comenzaron a aplicarse a principios de los años 70 en problemas relacionados con la investigación de mercado, y las primeras aplicaciones en el campo del transporte se deben a Louviere et al. (1973). En la actualidad, aunque el enfoque ha sido ampliamente aplicado en este campo, existen aspectos que aún están sometidos a debate.

Por su propia naturaleza, estos métodos requieren del diseño de encuestas específicas para obtener los datos. El primer aspecto a tener en cuenta para construir los distintos escenarios es definir las variables que intervienen en el modelo, así como los niveles que éstas pueden tomar. Los niveles deben ser asignados de forma realista y no entrar en contradicción con la experiencia de los individuos que van a ser entrevistados.

La combinación de niveles define distintos escenarios que constituyen el diseño experimental. Generalmente, se pretende que el diseño sea "ortogonal", es decir, que asegure que cada atributo varía independientemente de los demás, de forma que se pueda aislar su efecto en la función de utilidad indirecta. Esto evita los problemas de multicolinealidad que aparecen cuando se emplean datos de PR, donde en muchas ocasiones se encuentran atributos que varían en una misma dirección y es imposible aislar el efecto de cada uno por separado; además, en estos diseños, por su propia naturaleza, resulta sencillo incorporar al modelo variables de tipo cualitativo. (Kocur et al., 1982).

La ortogonalidad está garantizada cuando se consideran todas las combinaciones posibles de los niveles de las variables. Esto constituye lo que se denomina un diseño "factorial completo". Este diseño permite estimar no sólo los efectos aislados de todos los atributos sino también todas las posibles interacciones entre ellos. El problema es que en estos casos el número de escenarios puede ser muy elevado y el experimento puede producir fatiga al entrevistado, disminuyendo la calidad de las respuestas. Por tanto, lo que se suele hacer en la práctica es utilizar un diseño "factorial fraccional", que consiste en seleccionar sólo un subconjunto de escenarios del diseño factorial completo (en

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

función de cuáles sean los efectos aislados e interacciones que se desee medir). Para construir tales diseños se puede consultar los catálogos que aparecen en Kocur et al.(1982) o Hahn y Shapiro (1966).

El paso siguiente a la construcción del diseño es analizar las respuestas que dan lugar a la variable dependiente del modelo. Se pueden distinguir tres tipos de respuestas declaradas:

a) Elección (choice). El individuo selecciona en cada escenario presentado la alternativa preferida. Este tipo de experimento es bastante sencillo y es el que más se asemeja a lo que los individuos hacen en la vida real.

b) Jerarquización (ranking). En este caso el individuo ordena todas las alternativas que le son presentadas de acuerdo a sus preferencias. Las respuestas de jerarquización aportan más información que las respuestas de tipo elección, ya que no sólo permiten conocer cuál es la mejor alternativa, sino que también cual es la posición relativa de cada una de ellas. Si el individuo contesta adecuadamente, este método aporta sin duda más información acerca de cómo se intercambian unos atributos por otros.

c) Escalamiento (rating o generalised choice). En este caso los individuos expresan el grado de preferencia entre dos opciones de acuerdo a una escala semántica. A efectos de la explotación posterior, a cada punto de dicha escala se puede asociar un valor numérico. Las respuestas en este ejercicio son las que más información aportan, y éste resulta sencillo para los entrevistados.

Los modelos con este tipo de respuesta pueden ser estimados por regresión lineal tras aplicar la transformación de Berkson-Theil (ver Louviere, 1988) a los puntos de la escala. Un problema que surge es determinar cuáles son los valores más apropiados para asignar a cada punto de la escala semántica. Una discusión sobre estos aspectos, y una descripción de otros métodos para estimar el modelo en este caso, se pueden ver en Ortúzar y Garrido (1994).

Una vez obtenida la respuesta, se debe controlar la calidad del experimento de PD. Esto se suele llevar a cabo realizando encuestas piloto o trabajando con datos simulados según se sugiere en Fowkes y Wardman (1988). En este último caso, la idea consiste en generar una muestra de individuos ficticios que se enfrenta a un proceso de elección similar al planteado en el experimento. Para simular las respuestas se debe cuantificar la parte medible y la parte aleatoria de la función de utilidad. En el primer caso se asumen unos valores dados para los parámetros (que pueden estar basados en otros estudios y deben ser adecuados para la población de interés), y con ellos se calcula la utilidad representativa en cada escenario.

Una característica de la modelación con datos de PD es que de cada individuo es posible obtener múltiples observaciones (pseudoindividuos) para la muestra de datos. Esto

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

supone una importante ventaja comparativa en términos de costo respecto a la modelación con datos de PR, donde cada individuo aporta una única observación. Sin embargo esto plantea el problema de cómo estimar el modelo, por ejemplo con máxima verosimilitud, dado que la usual hipótesis de independencia entre observaciones no es estrictamente válida. Durante mucho tiempo se pensó que el error potencial de esta falencia estaba radicado en la obtención de estadísticos sobrevaluados para la significancia de los parámetros estimados. No obstante, hoy se sabe que al modelar correctamente, también pueden variar los valores medios de los coeficientes (Ortúzar et al., 2000). Afortunadamente, la familia de modelos logit mixto es particularmente apropiada para tratar este problema.

Como afirma Ortúzar (2000), existen distintas técnicas de preferencias declaradas que se denominan con diferentes nombres; los más conocidos son: análisis conjunto, medición funcional y análisis de compromisos; 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), pero los tres utilizan técnicas de diseño experimental para generar las opciones a ser evaluadas por el encuestado.

Los métodos de preferencias declaradas incluyen determinados sesgos que habrá que considerar y tratar de minimizar. Estos sesgos son:

- Sesgos o errores aleatorios, plasmados en las diferencias entre lo que los individuos declaran que harían en una situación hipotética planteada y lo que realmente harán si ésta se presenta. Este tipo de error puede presentarse debido a una mala interpretación de la encuesta, la existencia de incertidumbre o la fatiga del entrevistado.
- Existen errores no aleatorios debidos a experiencias anteriores, percepciones cotidianas de los encuestados.
- Interacción entre el encuestador y los encuestados.
- Sesgo de afirmación, por el cual el encuestado puede expresar las preferencias que él cree que el encuestador desea recibir.
- Sesgo de racionalización, por el cual el encuestado puede proporcionar respuestas artificiales en un intento de racionalizar su comportamiento habitual
- Sesgo de política, por el cual el encuestado puede responder deliberadamente en forma sesgada con el fin de influir en las decisiones o políticas que él cree que se seguirán sobre la base de los resultados de la encuesta.
- Sesgo de no restricción, por el cual el encuestado puede responder en forma irreal si no considera las restricciones prácticas de su comportamiento.
- Sesgo de no respuesta, común a cualquier tipo de encuesta.

Todos estos sesgos implican la posible existencia de errores de medición de la variable dependiente (la elección)

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Los principales factores a considerar para elegir el tipo de diseño experimental a utilizar son: el contexto de elección, el propósito del estudio y la presentación simple y realista del problema. Considerando estos factores, el presente estudio desarrolla los fundamentos y el diseño de una encuesta de elección del aeropuerto en la realización de viajes interdepartamentales. La selección de este tipo de diseño experimental se basa en la necesidad de pronosticar la probabilidad (o cuota de mercado) de utilización de los aeropuertos José María Córdova y Enrique Olaya Herrera en un destino determinado.

6.2.3 Construcción y calibración de un modelo analítico

Una vez que se ha optado por una especificación determinada, para poder llegar a la fase de predicción, es preciso estimar todos los parámetros desconocidos que aparecen en la función de utilidad del modelo. Dependiendo de la forma funcional, los parámetros determinarán el valor de las utilidades marginales; específicamente, los parámetros desconocidos deberán tomar valores tales que el comportamiento individual predicho por el modelo se ajuste en la medida de lo posible a su comportamiento real. La representación matemática de este principio básico se consigue a través del método de estimación de máxima verosimilitud. Los estimadores máximo verosímiles son aquellos que hacen que el modelo replique con probabilidad máxima la muestra observada (Wonnacott y Wonnacott, 1977). Desde el punto de vista de la estadística, no se cuestiona si la especificación del modelo es correcta o no; simplemente se hacen inferencias acerca de los parámetros desconocidos en la representación matemática del fenómeno.

La especificación de un modelo es producto de una combinación de la aplicación de teorías de comportamiento individual y de métodos estadísticos que permiten contrastar juicios subjetivos establecidos por el investigador. Normalmente, el proceso comienza con una teoría establecida a priori y con un conjunto de hipótesis consistentes con diversas especificaciones del modelo. La contrastación de estas hipótesis permite decidir si los supuestos son confirmados estadísticamente. Existe gran variedad de test estadísticos que se pueden plantear para contrastar hipótesis relacionadas con la especificación del modelo. En Ortúzar (1982) y en Ben-Akiva y Lerman (1985), se puede encontrar una amplia revisión de todos ellos con diversas aplicaciones empíricas.

Se escoge entonces la función más simple para tratar el problema. Se especifica el modelo, sus parámetros.

Para realizar el diseño de un modelo se proponen los siguientes aspectos, los cuales son una ayuda importante para tal fin:

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

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

- 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.

6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL DE UNA ENCUESTA CON TÉCNICA DE PREFERENCIAS DECLARADAS

Los diseños de elección resultan más cercanos al comportamiento habitual de elección de los individuos que las jerarquizaciones y los escalamientos. Por otra parte, de la estimación de modelos de demanda de elección discreta pueden obtenerse las valoraciones subjetivas que realizan los encuestados sobre cada uno de los atributos que caracterizan a cada alternativa de elección (aeropuertos en este caso).

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, los factores a considerar y su rango de variación.
- Preparación de una versión inicial del experimento, diseñando un borrador del cuestionario a utilizar como instrumento de medición.
- Realización de reuniones del tipo grupo focal, a fin de mejorar el cuestionario. En estas reuniones los participantes completan el cuestionario y exponen sus puntos de vista al respecto, con la finalidad de detectar posibles ambigüedades o falencias.
- Evaluación del resultado de la etapa anterior y rediseño del cuestionario.
- Realización de un pre-examen a través de una encuesta piloto, para evaluar los resultados y rediseñar el cuestionario de ser necesario.
- Realización de una simulación, para verificar si el cuestionario permite recuperar los valores de los parámetros de cada atributo, utilizando métodos econométricos que permiten obtener la bondad del ajuste de las estimaciones.

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 presentada en la Ecuación (1):

$$aXbYcZ \quad (1)$$

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.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Los factores o variables independientes pueden expresarse en escala continua (costo de viaje); o en escala discreta (seguridad). Cada uno; además, contiene sus niveles; la tarifa (alta, media y baja), 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.

6.4 MODELACIÓN DE LA DEMANDA

El problema de modelar la demanda de transporte se fue resolviendo progresivamente en forma más satisfactoria a través de las cuatro últimas décadas, hasta establecer una metodología a la que generalmente se reconoce como enfoque clásico. Esta considera el problema del transporte como un proceso secuencial en que interactúan diferentes submodelos: generación-atracción de viajes, distribución, reparto modal y asignación de tráfico a la red (últimamente se ha añadido, al menos en concepto, la elección de la hora del viaje). La entrada de estos modelos está constituida por variables de naturaleza agregada que están relacionadas con el comportamiento conjunto de un determinado grupo de individuos; éstas son empleadas para estimar variables dependientes de tipo continuo (por ejemplo, el número total de viajes producidos entre dos zonas). Aunque este modelo clásico ha sido el más difundido para analizar el problema general del transporte, existen otros modelos, también de naturaleza agregada, que permiten establecer predicciones de la demanda en un contexto particular (véase, Fowkes et al., 1985).

La necesidad de superar las obvias deficiencias del enfoque clásico en los años 70 dio lugar a la aparición de los modelos desagregados o de segunda generación. Estos entienden el problema de modelación de demanda en transporte como el resultado de una serie de decisiones tomadas por cada individuo particular, que se enfrenta a un conjunto de alternativas y que elegirá aquella que maximice su utilidad dadas sus restricciones (costo, tiempo, etc.). Los modelos de este tipo son denominados por Domencich y McFadden (1975) modelos de comportamiento, debido a que, a diferencia del enfoque tradicional, no están basados en una visión descriptiva de la demanda, sino más bien tratan de representar explícitamente el comportamiento de los individuos reflejando la demanda desagregada o a nivel individual.

6.4.1 Modelos de elección discreta

En el campo de la modelación del transporte, se han utilizado los modelos de elección discreta para abordar las elecciones modales, tratando de representar el comportamiento de un individuo que debe realizar una elección dentro de un conjunto de alternativas (por ejemplo viajar por el JMC o por el EOH) con el fin de realizar un desplazamiento.

En los modelos de elección discreta, también denominados modelos de respuesta cualitativa, se relaciona la probabilidad condicional de una elección con una serie de factores explicativos, que recogen las características de los individuos que toman las decisiones así como los atributos de las alternativas, y permiten calcular la probabilidad de que un individuo con determinadas características haga una elección dada.

Se infiere, una cantidad finita de alternativas, cada una de ellas con ciertos atributos comunes, a los cuales cada individuo les asigna distinto valor. Es decir, para el caso de la elección del modo de transporte para un viaje, las alternativas se componen de los diferentes modos disponibles para los usuarios; y los atributos comunes asignados a estas alternativas o modos, son para el caso de un viaje aéreo, la tarifa, el tiempo de viaje, el tiempo de espera, la comodidad, la seguridad, entre otras. El valor de los atributos para cada alternativa, y el producto de estos con el peso que los usuarios le asignan a dichos atributos; componen la función de utilidad.

El problema de maximización de la utilidad, tiene en cuenta; además de la alternativa elegida y del grupo de alternativas disponibles, los bienes de consumo continuo; tal como se muestra en la Ecuación (2).

Aplicando este problema al caso del transporte, se involucra la variable tiempo como tiempo de viaje y el tiempo restante disponible para el desarrollo de otras actividades.

$$\max_k \left\langle \max_x U(x, q_k, tv_k, t_\tau) \right\rangle / k \in K \tag{2}$$

- U*: Función de Utilidad
- x*: Bienes de consumo continuo
- q_k*: Características de la opción k (alternativa elegida)
- tv_k*: Tiempo de viaje
- t_τ*: Tiempo destinado a los distintos usos τ dados al tiempo, una vez elegida la alternativa k.
- K*: Conjunto de alternativas disponibles

Sujeto a: $px + ck = I$ Restricción de Presupuesto (3)

$$tv_k + \sum Tt\tau k = 24$$
 Restricción de Tiempo (4)

$$k * n = 0, \forall k \neq n, k \in K, n \in K \quad (5)$$

- p : Precio de los bienes
 ck : Costo de la alternativa elegida
 l : Ingreso del individuo

En la práctica el problema de maximización se resuelve y da origen a una función de utilidad condicionada en cada alternativa. Al calcular la utilidad relativa entre las diferentes alternativas, lo cual es aquello que realmente evalúa cada usuario, el aporte del ingreso a dicha utilidad desaparece tal como se muestra a continuación, en la función de Utilidad que suele postularse. De esta manera, el usuario elige la alternativa k que le genera mayor utilidad como se indica en la Ecuación (6).

$$V_k = \alpha c_k + \sum_l \beta_l q_{kl}, \forall k \quad (6)$$

α y β : Parámetros que representan el impacto del atributo cualitativo q_i sobre el nivel de utilidad.

La anterior (V_k) es la Utilidad conocida por el individuo, diferenciada de aquella conocida por el modelador. Para equilibrar ambas utilidades, en la ecuación (7) se introduce a la conocida por el modelador un término de error aditivo, que refleja el desconocimiento de éste.

$$U_k = \alpha c_k + \sum_l \beta_l q_{kl} + \varepsilon_k = V_k + \varepsilon_k, \forall k \quad (7)$$

De esta forma la función de utilidad tiene un componente determinístico y uno estocástico. El componente determinístico se atribuye al usuario, dado que este conoce todas las variables propias de la elección de la alternativa entre aquellas disponibles. Por el contrario, el modelador no tiene la información completa, por lo cual genera un componente aleatorio o estocástico en la función de utilidad.

Dependiendo de la distribución del término de error, se dará origen a distintos modelos probabilísticos de elección discreta basados en la Teoría de la Utilidad Aleatoria

Existen teorías más recientes que postulan la inclusión de variables de percepción y variables psicológicas las cuales influyen en la elección, al integrar variables latentes se ha originado modelos híbridos de elección discreta, los cuales contienen atributos de las alternativas que son medibles y adicional a esto variables latentes relacionadas con las actitudes, conductas y percepciones del individuo. Para estimar estos modelos se desarrollaron dos métodos: el secuencial y el simultáneo, el primero de ellos inicia la construcción de variables latentes antes de su integración con variables explicativas

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

usadas popularmente, el método simultáneo en ambos procesos se realiza de forma conjunta (Córdoba, 2010).

En el estudio desarrollado por Córdoba (2010), se integra una variable latente la cual se denomina regla de decisión, la cual permite establecer si la decisión de las personas es tomada de forma automática o si es tomada mediante el análisis de las alternativas para buscar la máxima utilidad. Este estudio aporta una herramienta importante en los modelos de elección discreta, al integrar variables psicológicas las cuales sólo dependen del individuo y no del modo.

Se demuestra que es posible y necesaria la inclusión de cuestionarios psicológicos los cuales dependen solamente del individuo; los modelos generados complementados con estas variables de tipo psicológicas, explican de forma apropiada la elección del usuario y además tienen en cuenta su racionalidad, para ser mucho más realista y así disminuir el término error (Córdoba, 2010).

Los resultados obtenidos en la investigación desarrollada por Córdoba J. (2010) apuntan a modelos de última generación al combinar variables psicológicas, aspectos económicos, atributos de las alternativas y variables latentes de percepción, lo cual da como resultado la generación de una familia de modelos, en los cuales se considera una regla de decisión aleatoria y una utilidad aleatoria.

El alcance de esta tesis no permitió aplicar la utilización de variables latentes por lo tanto sólo se aplicará la teoría de utilidad aleatoria.

6.4.1.1 Teoría de Utilidad Aleatoria

La teoría de la utilidad aleatoria constituye un marco de análisis adecuado para la construcción de modelos de demanda de transporte a partir de los principios de elección individual, y ha llegado a ser el principal enfoque en el que se basan la mayoría de los modelos de elección discreta. Sus elementos fundamentales son los siguientes (véase Ortúzar y Willumsen, 1994):

1) Se considera que individuos en un segmento de mercado dado con las mismas elecciones y restricciones asocian a cada opción una utilidad neta y escogen aquella alternativa con el mayor valor de utilidad. Se trata, por tanto, de individuos que actúan de forma racional y tienen información perfecta; esto es, siempre escogerán aquella alternativa que haga máxima su utilidad.

2) Existe un conjunto de alternativas disponibles "A" que puede variar entre los individuos de la población; en particular para un individuo q este será uno tal como $A(q) \in A$; además, existe un vector de características de los individuos y de las alternativas -

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

"atributos"-, medibles para cada individuo (X), siendo $x \in X$ el que correspondería a un individuo q de la población.

En este contexto se supone que el conjunto de alternativas disponibles, sobre las que el individuo debe escoger, está predeterminado; de forma que el proceso de elección llevará a elegir la mejor alternativa disponible dentro de ese conjunto.

3) A fin de tomar en cuenta el efecto de variaciones interpersonales y factores no observados, se hace la hipótesis de que la función de utilidad individual se distribuye aleatoriamente sobre la población. Esta asunción deriva del desconocimiento que tiene el investigador de cuáles son todos los elementos que cada individuo considera a la hora de realizar su elección. Por tanto, la función de utilidad tendrá dos partes diferenciadas tal como muestra la ecuación (8):

- Una parte medible y sistemática (V_{iq}) que es función de las características y atributos medibles.
- Una parte aleatoria (\mathcal{E}_{iq}) que recoge la idiosincrasia y gustos particulares de cada individuo; además, de errores de medición y observación por parte del modelador.

$$\text{Por tanto: } U_{iq} = V_{iq} + \mathcal{E}_{iq} \quad (8)$$

Donde:

i = la alternativa

q = individuo o grupo homogéneo

U_{iq} = Utilidad Aleatoria de la alternativa i y el individuo q .

V_{iq} = Componente representativa que es función de atributos observables.

\mathcal{E}_{iq} = Componente aleatorio ó perturbaciones estocásticas en el transporte. (Idiosincrasias, errores de medición, etc.

Una expresión sencilla para V_{iq} está dada por la ecuación (9):

$$V_{iq} = \sum_{k=1}^k \theta_{ik} X_{ikq} \quad (9)$$

Donde los parámetros θ se suponen constantes para todos los individuos aunque pueden variar en cada alternativa.

Hay que tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Para que la descomposición de U en V y \mathcal{E} sea relativamente adecuada, se necesita que la población en estudio sea homogénea.
- Se requiere que los individuos tengan las mismas alternativas y enfrenten las mismas restricciones. Para lograr esto puede ser necesario segmentar el mercado.
- Es importante destacar que se están planteando dos visiones del fenómeno de elección. En primer lugar, la de los individuos (que no tiene ningún grado de

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

aleatoriedad), que calmadamente ponderan todos los atributos que les interesan y escogen la opción más conveniente. En segundo lugar está el modelador, que sólo es capaz de observar algunos de los elementos de juicio de los individuos, y ello introduce los errores (\mathcal{E}) para explicar lo que, de otro modo aparecería como irracional.

- La teoría de la utilidad aleatoria considera que el individuo escoge la alternativa de máxima utilidad como se indica en la ecuación (10), esto es. Escoge la opción i si:

$$U_{iq} \geq U_{jq} \quad (10)$$

Descomponiendo las utilidades se llega a las ecuaciones (11) y (12):

$$V_{iq} + \mathcal{E}_{iq} \geq V_{jq} + \mathcal{E}_{jq} \quad (11)$$

Luego

$$V_{iq} - V_{jq} \geq \mathcal{E}_{jq} - \mathcal{E}_{iq} \quad (12)$$

Como el analista no conoce la diferencia de los errores ($\mathcal{E}_{jq} - \mathcal{E}_{iq}$), no podría determinar con acierto si la desigualdad anterior cumple, por esta razón la probabilidad de escoger la alternativa A_i está dada por la ecuación (13):

$$P_{iq} = \Pr\{\mathcal{E}_{jq} \leq \mathcal{E}_{iq} + V_{iq} - V_{jq}, \forall A_j, \mathcal{E}A_q\} \quad (13)$$

6.4.1.2 Modelo Logit Multinomial (MNL)

La estimación de modelos donde el individuo se enfrenta a un conjunto de alternativas superior a dos, donde éstas no están ordenadas, es una generalización de la metodología aplicada en los modelos de elección binaria.

Sin duda, el modelo más utilizado es el logit multinomial (MNL) que se genera a partir de funciones de utilidad independientes e idénticamente distribuidas con función de densidad Gumbel y que presenta una matriz de varianzas-covarianzas diagonal. La razón más importante de esta popularidad deriva de su estructura analítica muy sencilla

El principal supuesto del modelo logit es que los términos aleatorios de la función de utilidad son independientes e idénticamente distribuidos (IID), lo cual implica que los individuos con las mismas características observables tienen gustos idénticos y que cualquier efecto derivado de las características no observables de los individuos o las alternativas no están correlacionados a través de los individuos ni de las alternativas.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

La probabilidad de elección de la alternativa j (A_j) por el individuo q ; está dada por la ecuación (14):

$$P_{jq} = \frac{e^{\lambda V_{jq}}}{\sum_{A_i \in A_q} e^{\lambda V_{iq}}} \quad (14)$$

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.

En la ecuación (15), 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:

$$P_{jq} = \frac{e^{\beta \sum_k \theta_k X_{ikq}}}{\sum_j e^{\beta \sum_k \theta_k X_{jkq}}} \quad (15)$$

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 más se ajusten a las observaciones realizadas; es decir, los más verosímiles.

Dado que $\beta = \frac{\pi}{\sigma \sqrt{6}}$

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

En Obtúzar (2000), se denomina elasticidad el cambio porcentual en la probabilidad de elegir cierta alternativa A_j , del conjunto de alternativas A_q , a consecuencia de variaciones en el valor de los atributos de la misma alternativa A_j (Elasticidad Directa), o de otra alternativa A_j (Elasticidad Cruzada), que también pertenezca al conjunto A_q

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

La ecuación (16) muestra la elasticidad directa del MNL respecto a un atributo X_{ikq} :

$$E_{piq} X_{ikq} = \theta_{ik} X_{ik} (1 - P_{iq}) \quad (16)$$

La elasticidad cruzada se indica en la ecuación (17):

$$E_{piq} X_{jkq} = -\theta_{jk} X_{jk} P_{jq} \quad (17)$$

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

6.4.1.3. Modelo logit mixto

La idea de los modelos Logit mixto como tal, no es una idea nueva, modelos de estas características han sido propuestos con anterioridad. Por ejemplo se puede citar los trabajos de Cardell y Dunbar (1980) y Boyd y Melman (1980), en que un modelo equivalente a los actuales Logit mixto es descrito con el nombre de modelo Hedónico. Su reciente reaparición con otro nombre y renovados bríos puede deberse a que los avances tecnológicos en computación y métodos numéricos permiten ahora su estimación en menor tiempo. Recientemente este tipo de modelos ha sido utilizado para modelar diversas situaciones (Brownstone y Train, 1999)

El modelo logit mixto se perfila como la herramienta de modelación de elecciones discretas más promisoria de la práctica actual. Su capacidad de incorporar virtualmente cualquier estructura de error lo hace atractivo para modelar patrones de comportamiento cada vez más complejos, y en los últimos años se han publicado diversas aplicaciones que analizan su comportamiento bajo diversas condiciones, y utilizando distintas estructuras.

En términos más específicos, los modelos Logit mixto nacen de suponer una función de utilidad U_{in} conformada por una componente determinística V_{in} , una componente aleatoria ε_{in} independiente e idénticamente distribuida, y uno o más términos aleatorios adicionales. Estos términos de error adicionales pueden ser agrupados en un término aditivo η_{in} , que puede ser función de datos observados de la alternativa, y que permite recoger la presencia de correlación y heteroscedasticidad (varianzas diferentes para todas las alternativas y para todas las elecciones). Así, la función de utilidad queda definida en la ecuación (18):

$$U_{in} = V_{in} + \eta_{in} + \varepsilon_{in} \quad (18)$$

Se puede ver que se trata de una forma distinta de justificar un determinado modelo. La forma usual es hacer supuestos directamente sobre la distribución del término de error ε_{in} ,

como por ejemplo en el caso del Probit. En cambio, en un modelo Mixed Logit lo que se hace es construir una estructura de error diferente agregando términos que sean fuente de correlación y/o heteroscedasticidad.

Propiedades del logit mixto

La propiedad más interesante de este modelo es que bajo ciertas condiciones de regularidad cualquier modelo de utilidad aleatoria tiene probabilidades de elección que pueden ser aproximadas tan cerca como se desee por un logit mixto (McFadden y Train, 2000). Es así como, por ejemplo, un modelo logit mixto con parámetros aleatorios distribuidos Normal puede aproximar a un modelo Probit.

Por otro lado, al permitir modelar alternativas correlacionadas, el logit mixto es capaz de levantar el supuesto de independencia de alternativas irrelevantes propio del MNL. De esta manera, los patrones de sustitución entre alternativas son flexibles y son un resultado de los datos y no una imposición particular, como ocurre en el MNL.

La relación entre un modelo logit mixto y los modelos de parámetros formulados con el objetivo de modelar variaciones en los gustos es directa. En ese sentido, se puede plantear que los parámetros de gusto β_n poseen una media poblacional β más una componente aleatoria μ_n que representa la variación en los gustos del individuo n con respecto a la media. Esto se puede interpretar como una estructura análoga, en la cual $\eta_{in} = \mu_n z_{in}$ y $z = x$ (Brownstone y Train, 1999).

6.4.1.4. Modelación con Datos Mixtos

Ortúzar (2000) 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. Los datos de P.R. como los de P.D. tienen limitaciones. Con la finalidad de aprovechar las ventajas de ambos datos, y al mismo tiempo solventar las dificultades que ellos 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).

Se retoma el concepto de utilidad aleatoria, tal como se indica en la ecuación (19):

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad \text{Donde} \quad V_{jq} = \sum_k \theta_{jk} X_{jkq} \quad (19)$$

Dado que el modelador no conoce el componente aleatorio (el término error) en las funciones anteriores, la preferencia para determinada alternativa A_i debe expresarse en

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

términos probabilísticos. Para esta estimación, los modelos más utilizados son los tipo logit multinomial ya mencionado y el logit Jerárquico.

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 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 indica la ecuación (20).

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

η_{iq} = error asociado a la variable dependiente

Relacionándose con la función anterior, se obtiene la ecuación (21)

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} = W_{iq} + \eta_{iq} \quad (21)$$

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 se indica en la ecuación (22)

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = \mu^2 \sigma_{\eta}^2 \quad (22)$$

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 4.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

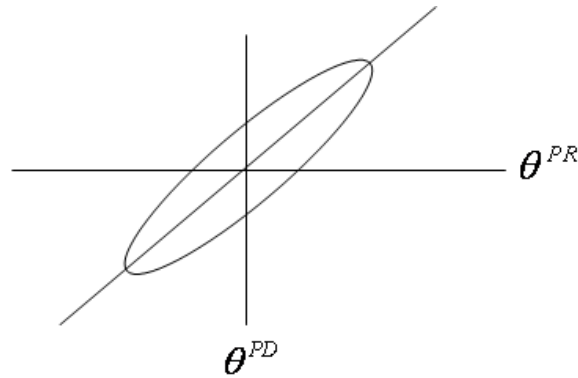


Figura 4. Gráfico con los parámetros de los modelos de PR y PD

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 tal como se evidencia en las ecuaciones (23) y (24)

$$U_i^{PR} = \theta X_i^{PR} + \alpha Y_i^{PR} + \varepsilon_i \quad (23)$$

$$\mu U_i^{PD} = \mu(\theta X_i^{PD} + \beta Z_i^{PD} + \eta_i) \quad (24)$$

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 la ecuación (25) y (26):

$$P_i^{PR} = \frac{e^{(\theta X_i^{PR} + \alpha Y_i^{PR})}}{\sum_j e^{(\theta X_j^{PR} + \alpha Y_j^{PR})}} \quad (25)$$

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
 Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

$$P_i^{PD} = \frac{e^{\mu(\theta X_i^{PD} + \beta Z_i^{PD})}}{\sum_j e^{\mu(\theta X_j^{PD} + \beta Z_j^{PD})}} \quad (26)$$

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 (logit jerárquico) (Bradley y Daly, 1997) y la estimación secuencial (Ben – Akiva y Morikawa, 1990).

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 5:

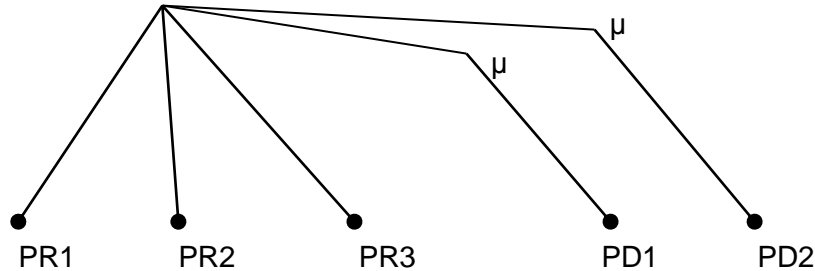


Figura 5. Esquema de estimación con datos mixtos

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 la ecuación (27):

$$V^{COMP} = \mu \log \sum e^{VPD} \quad (27)$$

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Dado que cada nido contiene solamente una alternativa, y reemplazando la porción sistemática o determinística de la función de utilidad; se encuentra la expresión dada por la ecuación (28)

$$V^{COMP} = \mu V^{PD} = \mu \theta X^{PD} + \mu \beta Z \quad (28)$$

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

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:

$$V_i^{PR} = \mu \theta X_i^{PR} \quad (29)$$

En la ecuación (30) se estima el modelo de P.R. incluyendo la nueva variable para obtener λ y α ; con $\lambda = 1/\mu$

$$U_i^{PR} = \lambda V_i^{PR} + \alpha Y_i^{PR} + \varepsilon_i \quad (30)$$

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.

6.4.2 Test Estadísticos utilizados en la elección de los modelos

6.4.2.1. Test t

Los programas de estimación entregan, en convergencia, la matriz de covarianza $V=(\sigma_{kk})$ que contiene los errores estándar de los parámetros estimados. De este modo, si θ_k es igual a 0, se puede definir el valor t en la ecuación (31).

$$t = \frac{\theta}{\sigma_{kk}} \sim N(0,1) \quad (31)$$

Con esto es posible medir si θ_k es significativamente distinto de cero. Es importante notar que no es exactamente un test t, sino una aproximación para muestras grandes, en que t

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

se prueba con la distribución normal. Así, si $t > |1,96|$ para $(1-\alpha) = 95\%$, se rechaza la hipótesis nula $\theta_k = 0$ y se acepta que el atributo X_k tiene un efecto significativo.

6.4.2.2. Test de razón de Verosimilitud

Muchas propiedades importantes de los modelos de elección discreta se pueden expresar con restricciones lineales de algún modo más general. El modelo más general será el que se presenta con constantes específicas. Para este caso la hipótesis H_0 será la prueba a realizar.

Para esto, se especifica un modelo general con distintos coeficientes y luego se prueba la igualdad de parámetros como restricciones lineales.

Para tal efecto, es necesario utilizar el test de razón de verosimilitud. Para llevarlo a cabo, se debe correr en primer lugar el programa de estimación para el caso más general, obteniéndose parámetros θ' y una log-verosimilitud en convergencia $l(x(\theta'))$. Luego se debe correr nuevamente el programa para el modelo restringido, obteniéndose parámetros $(\theta'_{r'})$ y una nueva función $l(x(\theta'_{r'}))$.

Entonces, si el modelo restringido es una especificación correcta, el estadígrafo LR está definido en la ecuación (32)

$$LR = -2\{l(x(\theta'_{r'})) - l(x(\theta'))\} \quad (32)$$

Y se distribuye asintóticamente como una chi-cuadrado (χ^2) con r grados de libertad, en que r es el número de restricciones lineales. Esto sólo es posible cuando un modelo es una versión restringida de otro.

H_0 se rechaza si $LR > \chi^2_{1,95\%}$; 1,95%, esto quiere decir que el modelo restringido es erróneo.

6.4.2.3. Índice ρ^2

No es posible tener un índice de las características de R^2 (coeficiente de correlación) en modelos de elección discreta. Sin embargo, es de gran interés contar con algún tipo de índice de bondad de ajuste que esté entre 0 (no hay ajuste) y 1 (ajuste perfecto), y que sirva para comparar modelos. El ideal sería que también estuviese relacionado con la distribución de probabilidad a fin de posibilitar un test de hipótesis.

El índice de la ecuación (33) (McFadden, 1974) cumple varias de estas características:

$$\rho^2 = \frac{l - l(x(\theta'))}{l(0)} \quad (33)$$

Sin embargo, aunque se comporta bien en los límites (0,1), no tiene una interpretación intuitiva para valores intermedios; de hecho valores como 0,4 pueden constituir excelentes ajustes.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Este estadígrafo está entre 0 y 1, es comparable para distintas muestras y está relacionado con la distribución Chi –Cuadrado χ^2

6.4.2.4 Test LR para modelos mixtos:

El test de la ecuación (34) sirve para comparar modelos mixtos frente a modelos simples, de PR o de PD:

$$LR = -2\{l^*(\theta^{PR}, \alpha) + l^*(\theta^{PD}, \beta) - l^*(\theta, \alpha, \beta, \mu)\} \quad (34)$$

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.

6.5 INVESTIGACIONES EN EL CAMPO DE INTERES

Aunque estudios de preferencias declaradas desarrollados sólo en aeropuertos no poseen una bibliografía amplia, es importante tomar como fundamentos las investigaciones desarrolladas con base en preferencias declaradas sin importar a los modos en que se apliquen.

6.5.1 Diseño de preferencias declaradas para analizar la demanda de viajes

En este trabajo se analizan los aspectos más relevantes del diseño de Preferencias Declaradas (PD) realizado para el estudio de la demanda de viajes en los dos principales corredores de la isla de Gran Canaria. Los datos de PD se basan en el estudio de las preferencias individuales ante determinadas situaciones hipotéticas diseñadas por el investigador y son especialmente útiles cuando se desea analizar la demanda de nuevas alternativas, medir el efecto de variables latentes o examinar las potenciales interacciones entre variables explicativas. En concreto, se describe en detalle el proceso de elaboración del experimento de PD. (Ortúzar, et. al.,2004).

6.5.2 Diseño experimental en estudios de preferencias declaradas: Criterios de eficiencia para Modelos Logit.

El trabajo presenta una revisión de los criterios actualmente utilizados en el diseño de experimentos de elección para estudios de preferencias declaradas; se cuestiona el uso tradicional de diseños factoriales ortogonales con modelos de elección discreta (no lineales), como los de tipo logit utilizados en transporte y otras áreas, y se explica por qué su uso no es adecuado en ese caso. En su lugar, se recomiendan criterios de eficiencia asociados al determinante de la matriz de covarianza de los parámetros estimados, que se obtiene por máxima verosimilitud a partir de la matriz de información del problema. La medida se relaciona directamente con la magnitud de los errores de los parámetros

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

estimados y, por lo tanto, con la calidad de los resultados. Se discuten distintas recomendaciones, donde destacan heurísticas de minimización y el uso de una variable de control semi-continua. Las medidas de eficiencia son medidas a posteriori, por lo que en la práctica se requiere suponer formas funcionales y valores a priori para los parámetros asociados; aquí se explica cómo este hecho, que puede parecer contradictorio y ha limitado el uso al nivel de literatura especializada, se puede enfrentar mediante calibraciones previas con muestras piloto o un enfoque bayesiano. Además, se comentan algunos programas disponibles para facilitar la labor de diseño. Finalmente, se presenta un ejemplo donde se utilizó criterios de eficiencia al diseñar un experimento de diseño urbano, que consideraba situaciones en pares y una variable controladora asociada al costo. Se discuten las ventajas del diseño utilizado y la posibilidad de usar el costo como variable controladora en diseños eficientes en estudios de transporte. (Iglesias, et al. 2010)

6.5.3 Resultado de la preferencia de los pasajeros en tipos específicos de aeropuertos

Los estudios del comportamiento en la elección de viajar por el modo aéreo, cada vez más hacen uso de los datos recogidos a través de encuestas de preferencias declaradas. En la investigación se determinan las características relacionadas con el tamaño del aeropuerto y la calidad de servicios, así como la proximidad al sitio de partida. Los resultados obtenidos de la elección discreta sugieren que, en igualdad de condiciones, los encuestados prefieren más a los aeropuertos pequeños, que a los aeropuertos más cercanos a su casa. Esto podría sugerir que a pesar de que los encuestados asocian una mayor probabilidad de demora y otros inconvenientes con los aeropuertos más grandes, hay una percepción de que si algo sale mal (por ejemplo, cancelaciones de vuelo), las opciones de planes de contingencia en los aeropuertos más grandes (por ejemplo, aviones de reemplazo) son superiores a las de los pequeños. (Hess, 2010)

7. INFORMACIÓN REQUERIDA

De acuerdo a lo obtenido en la revisión bibliográfica, se determina que el modelo a estimar tomará en cuenta las utilidades asignadas por los usuarios a los dos aeropuertos disponibles. Dicha utilidad en términos generales tendrá la estructura básica mostrada en la ecuación (35):

$$U_i = \beta + \theta_{\text{costotiquete}} CT_i + \theta_{\text{costodesplazamiento}} CD_i + \theta_{\text{TiempoViaje}} TV_i \quad (35)$$

Las variables a estimar serán la constante específica de cada aeropuerto y los coeficientes asignados a sus atributos como son el Costo del Tiquete, el Costo del desplazamiento al aeropuerto y el Tiempo de viaje para llegar al aeropuerto. Ya se ha mencionado que los valores de los θ se calculan con la utilización del programa Biogeme; el cual debe alimentarse con datos que representan el comportamiento tanto real como supuesto de los viajeros, y que fueron obtenidos con la técnica de preferencias declaradas.

7.1 DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se definirá y describirá la zona de estudio, la cual está influenciada directamente por las operaciones del aeropuerto José María Córdova y Enrique Olaya Herrera.

Esta zona de estudio, se limita sólo a usuarios que residen en el municipio de Medellín y los municipios cercanos, no se tuvo en cuenta la población del oriente ya que se supone que en su mayoría utilizarían el aeropuerto José María Córdova para iniciar su viaje

7.2 ANÁLISIS GRUPO FOCAL

La técnica de los grupos focales es una reunión con modalidad de entrevista grupal abierta y estructurada, en donde se procura que un grupo de individuos seleccionados por los investigadores discutan y elaboren, desde la experiencia personal, una temática o hecho social que es objeto de investigación. Generalmente los participantes se entrevistan previamente para determinar si califican o no dentro del grupo.

La reunión del grupo focal es dirigida por un moderador que utiliza una guía de discusión para mantener el enfoque de la reunión y el control del grupo

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

7.2.1 Definición de los participantes del grupo focal

El grupo focal se realizó el 18 de junio de 2010 a profesionales que laboran como contratistas e interventores, el moderador utiliza una guía de discusión para dirigir el grupo, presentará adecuadamente las preguntas, responderá neutralmente a los comentarios y estimulará la participación del grupo.

7.2.2 Reunión

Las personas escogidas para hacer parte del grupo focal, alguna vez han utilizado el transporte aéreo, aspecto importante para recrear la situación y poder obtener el mayor provecho de la discusión

Se define el tema a tratar y se forman dos grupos cada uno integrado por 3 personas tal como muestra la Tabla 11, en la cual uno de ellos defiende la posibilidad de viajar por el EOH y el otro grupo viajar por el JMC.

Tabla 11. Personal Participante en el Grupo focal

Grupo 1	Grupo 2
Defensa del EOH	Defensa del JMC
3 Integrantes	3 Integrantes

Fuente. Elaboración propia

7.2.3 Información obtenida

A continuación se ilustra por medio de la Tabla 12 las conclusiones obtenidas por cada uno de los grupos integrantes de la reunión.

Tabla 12. Análisis del grupo focal

GRUPO 1	GRUPO 2
Se considera que viajar por el EOH siempre implica menor tiempo de desplazamiento	Puede ser que con las congestiones que existen en Medellín, se puede tardar lo mismo en llegar al JMC
Aunque están de acuerdo que desde el EOH parten menos aerolíneas hacia el destino deseado, es un aspecto importante comprar el tiquete con ciertos días de anticipación para poder encontrar disponibilidad	En el JMC existen más aerolíneas que viajan hacia los destinos Bogotá y Cali y con diferentes itinerarios, además se puede encontrar tiquetes con un día de anticipación
Sería bueno indagar sobre el último viaje en avión que realizó el encuestado	Más aún, la prueba debería realizarse en alguna sala de espera de los aeropuertos y con esto asegurar que el encuestado tiene la información inmediata sobre el viaje y con esto evitar posibles errores en las respuestas

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 12. Continuación

La escogencia del aeropuerto depende de quién paga el tiquete, porque si lo paga la empresa, al empleado no le importaría viajar por el EOH o por el JMC	Si el encuestado considera llevar más de una maleta en el viaje la forma más cómoda sin sobre costos corresponde a viajar por el JMC, debido a que desde allí parten aeronaves más grandes que desde el EOH
Un taxi para llegar al EOH cuesta mucho menos que hacia el JMC	Para llegar al aeropuerto JMC se cuenta con los mismos modos de transporte que existen para llegar al EOH y con unos precios muy competitivos, estos son taxi, colectivo y bus.
La mayoría de las personas prefieren salir del EOH ya que no les toca salir con tanto tiempo de anticipación, mientras que en el JMC se debe de llegar con mucho tiempo de anticipación para el check-in , sin contar el tiempo de viaje	Dependiendo a la ocupación de los usuarios sería la escogencia del aeropuerto, para un ejecutivo que viaja a las 6 am se tiene la posibilidad de regresar el mismo día en horas de la noche, mientras que en el EOH el último vuelo llega antes de las 6 pm, ya que este aeropuerto tiene restricción para operar en horas nocturnas
Un individuo entre mayores ingresos devengue, más viajes en avión va a realizar al año	Para alguien que desee viajar en clase ejecutiva, las aeronaves que parten del JMC son de gran tamaño por lo cual lo pueden hacer desde esta terminal, caso contrario ocurre en el EOH que no despegan aeronaves grandes.
Es posible de igual manera que si alguien vive en un estrato alto, podría realizar más viajes en avión al año.	La mayoría de las personas que devenguen grandes ingresos o pertenecen a estratos altos tienden a desplazarse en auto particular o en taxi hacia el aeropuerto
Si un usuario proviene de un municipio de Antioquia y desea viajar a Bogotá, llegaría al EOH por ser aeropuerto regional y le sería más fácil partir del mismo sitio hacia la ciudad destino, que en este caso sería Bogotá.	La investigación debería estar encaminada sólo para usuarios que vivan en Medellín y municipios aledaños como Bello, Envigado, Sabaneta, etc., ya que si se tiene en cuenta personas que vivan en el oriente es lógico que escojan viajar por el JMC.

Fuente. Elaboración Propia

7.3 DISEÑO DE LA ENCUESTA DE PREFERENCIAS DECLARADAS

Tal como se mencionó en la revisión bibliográfica, las técnicas de P.D. consisten en indagar acerca de las decisiones que eventualmente tomarían los individuos sobre la elección de determinada alternativa bajo una serie de atributos ficticios, propuestos por el investigador de acuerdo a sus objetivos.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

En este caso, se indagó sobre distintas situaciones para realizar un viaje por alguno de los dos aeropuertos que sirven a la ciudad de Medellín y sus municipios cercanos, dichas situaciones son generadas a partir de la variación de los valores de los atributos que se investigan; como son el costo del tiquete, el costo del desplazamiento al aeropuerto, y el tiempo de viaje al aeropuerto.

Se tendrán en cuenta tres variables en el modelo a estimar, como son costo del tiquete (CT), costo del desplazamiento al aeropuerto (CD) y tiempo de viaje al aeropuerto (TV) cada una se divide en 3 niveles; alto, medio y bajo.

Tabla 13. Niveles de las variables en el trayecto Medellín-Bogotá

ALTERNATIVA	COSTO TIQUETE AÉREO			COSTO DESPLAZAMIENTO AL AEROPUERTO			T. VIAJE ACCESO AEROPUERTO		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
JMC	\$120.000	\$150.000	\$180.000	\$15.000	\$25.000	\$60.000	00:40	00:50	01:00
EOH	\$160.000	\$190.000	\$220.000	\$10.000	\$15.000	\$20.000	00:15	00:20	00:30

Fuente Elaboración propia

Tabla 14. Niveles de las variables en el trayecto Medellín-Cali

ALTERNATIVA	COSTO TIQUETE AÉREO			COSTO DESPLAZAMIENTO AL AEROPUERTO			T. VIAJE ACCESO AEROPUERTO		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
JMC	\$110.000	\$140.000	\$170.000	\$15.000	\$25.000	\$60.000	00:40	00:50	01:00
EOH	\$130.000	\$185.000	\$240.000	\$10.000	\$15.000	\$20.000	00:15	00:20	00:30

Fuente Elaboración propia

De acuerdo al diseño factorial se encontrarían 27 alternativas posibles (3 variables con 3 niveles) para mostrarle a cada encuestado, situación que resultaría bastante complicada, ya que el encuestado se puede cansar ante tantas opciones y esto arrojaría resultados no confiables.

Teniendo así 3 variables con 3 niveles (0,1,2) como se observa en la tabla 13 y 14, se selecciona el Plan Maestro 3 de las tablas de Kocur, y se utiliza las columnas 1,2 y 4 por lo cual se reduce las 27 alternativas a únicamente 9 posibles combinaciones para las encuestas que se deben realizar. (Kocur, 1982) Ver Anexo A

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Rangos de variación del costo del tiquete:

Los valores del (CT) fueron obtenidos de las tarifas disponibles de las aerolíneas que cubren los trayectos hacia Bogotá y Cali en el mes de Octubre de 2010 y se puede observar que para viajar partiendo del JMC los tiquetes tienen una variación de \$30.000 entre el nivel bajo y medio, y entre el nivel medio y alto. Para los viajes que salen del EOH con destino a Bogotá se presenta una variación constante entre los niveles, la cual es de \$30.000 y para el trayecto hacia Cali si se presenta una variación constante de \$55,000 entre el nivel 0 y 1 y entre el 1 y 2.

Rangos de variación del costo de desplazamiento al aeropuerto:

Los costos de desplazamiento al aeropuerto JMC descritos en la tabla 13, son obtenidos de los valores que manejan los diferentes modos de transporte que llegan al mismo, los cuales son: bus, colectivo, taxi o el costo de viajar en auto particular, y varían entre \$15.000 y \$60.000.

Los valores designados para el desplazamiento al aeropuerto EOH varían entre \$10.000 y \$20.000, estas diferencias son basadas en que los usuarios parten de diferentes sitios de la ciudad y en diferentes medios de transporte los que se ve reflejado en valores diferentes para el desplazamiento.

Rangos de variación del tiempo de acceso al aeropuerto:

Teniendo en cuenta que la encuesta está dirigida para los habitantes de los municipios de Medellín, Bello, Itagüí, Envigado y Sabaneta, se determinó los tiempos promedios que utilizarían en llegar a cada uno de los aeropuertos; para llegar al JMC se encuentran tiempos más altos (40 min, 50 min y 1 hora) y para arribar al EOH tiempos menores (15, 20 y 30 min)

Basados en la información obtenida en la reunión del grupo focal, se pretende indagar sobre las condiciones del viaje que rodean al encuestado; tales como el motivo, cantidades de viajes que realiza en el año, tipo de avión en el que prefiere viajar, quién paga el viaje, quién toma la decisión de viajar por el aeropuerto (JMC o EOH), medio de transporte en que llega al aeropuerto, días de anticipación con que se reserva el viaje, si viaja con acompañantes, si lleva maletas; adicional a la información del viaje se examina el aspecto personal y económico del usuario como edad, ocupación, ingresos y estrato socioeconómico, cabe anotar que no se tuvo en cuenta el tiempo de viaje en aire ya que éste es un valor constante para cada destino partiendo de cualquiera de los dos aeropuertos. Para ello, se diseñó el Formulario que es presentado en el Anexo B Formato de Encuesta.

7.4 RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Para determinar el número de encuestas a realizar se utilizó la ecuación (36) (Ortúzar, 2000)

$$n = \frac{P(1 - P)}{\left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{P(1-P)}{N}} \quad (36)$$

n = Número de pasajeros a encuestar

P = Proporción de viajes con destino determinado

$P = 0,5$ produce el valor más conservador ósea con n mayor

e = Nivel aceptable de error expresado en proporción = 0,10

z = variable normal estándar para un nivel de confianza requerido = 1,96

N = Tamaño de la población

$N_{Bogotá}$ = 17.889 pasajeros

N_{Cali} = 2.149 pasajeros

$n = 96$ Calculado con los datos de Bogotá

$n = 92$ Calculado con los datos de Cali

Total pasajeros a encuestar **$n=188$**

Se realizará un total de 200 encuestas.

La información primaria requerida para el desarrollo de la investigación, consiste en la realización de aproximadamente 200 encuestas de Preferencias Declaradas (P.D.).

Las encuestas se realizan a usuarios tanto del aeropuerto José María Córdova como del aeropuerto Enrique Olaya Herrera, si el número de encuestas se tomara de acuerdo a la proporción de pasajeros que cada uno de los aeropuertos reporta para los destinos a estudiar, encontraríamos que las encuestas a realizar en el EOH, serían pocas respecto al JMC; por lo tanto se decidió realizar las cantidades descritas en la tabla 15 y con esto un tamaño de población mínima para obtener resultados confiables.

Tabla 15. .Distribución de encuestas por aeropuertos

DESTINO	DESDE EL JMC	DESDE EL EOH
BOGOTA	80	40
CALI	40	40

FUENTE: Elaboración Propia

Las encuestas se realizaron en las salas de espera de cada aeropuerto, lo primero que se preguntaba era el sitio de origen, esto con el fin de asegurar que la población provenía de los municipios antes mencionados y que viajan para las ciudades de Bogotá y Cali.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Las encuestas se realizaron en los aeropuertos con el fin de que el encuestado se ubique en el contexto de viaje aéreo, no quiere decir con esto que cada encuestado va a escoger el aeropuerto donde se encuentra al momento de realizar la encuesta, ya que en la misma encuesta se le presentaban las dos alternativas: viajar por el JMC con unas condiciones de costos y tiempos, o viajar por el EOH con diferentes escenarios.

7.4.1 Prueba piloto

Conocida la cantidad de encuestas a realizar y el sitio de las mismas, se procede al diseño experimental de una encuesta piloto de P.D. De acuerdo a sus resultados se obtiene el diseño definitivo de las encuestas de P.D.

Se ejecutaron un total de 15 encuestas piloto para el destino Bogotá, distribuidas en 10 para el JMC y 5 en el EOH. El modelo resultante, aunque no fue representativo arrojó signos congruentes con lo esperado. Por lo tanto, el diseño de la encuesta fue aprobado y se realizaron las 200 inicialmente planeadas, las cuales arrojarían 1800 observaciones, 1080 para el destino Bogotá y 720 para Cali

7.4.2 Elaboración de las encuestas de preferencias Declaradas

Las encuestas fueron desarrolladas por el investigador con asistencia de un encuestador, el cual fue capacitado para la realización de las mismas.

Las encuestas se realizaron la primera semana del mes de noviembre de 2010, que es una temporada baja si se está hablando de turismo; se abordaba al encuestado en las salas de espera, se realizaron en esta zona ya que con esto se aseguraba que la encuesta se estaba desarrollando en un ambiente de transporte aéreo. Se obtuvieron los permisos por parte del operador Airplan para ingresar a estas zonas en los momentos en que los usuarios ingresaban para esperar los vuelos a Bogotá y Cali.

Se realizaron entonces las encuestas a diferentes horas el día y lo primero que se preguntaba era de qué sitio provenía o dónde vivía ya que si el encuestado era originario de otra ciudad no aplicaba para realizarle la encuesta, ya que no está enmarcado dentro de las poblaciones definidas anteriormente, y podría suceder que no conocía bien los aeropuertos disponibles a evaluar en la encuesta.

7.4.3 Resultados de las encuestas

Se obtuvieron 1080 observaciones para el destino Bogotá y 720 para Cali, con estos datos se construyeron dos bases de datos para cada destino. Ver Anexo C

El principal resultado que arrojan las encuestas para los destinos en mención es la estimación de los coeficientes de los parámetros que se asignaron a la función de utilidad

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

para cada uno de los aeropuertos disponibles en la zona de influencia, los cuales serán tratados en el siguiente capítulo.

7.4.4 Estadísticas básicas de las variables

Con el fin de concebir el comportamiento de los individuos dentro de la encuesta, se realizó un análisis de las principales variables descritas en la Tabla 16:

Tabla 16. Información básica de la encuesta

AEROPUERTO	RESPUESTAS HOMBRE	RESPUESTAS MUJER
Elección del JMC	217	326
Elección del EOH	629	628
TOTAL OBSERVACIONES	846	954
TOTAL PERSONAS ENCUESTADAS	94	106

Fuente. Elaboración propia

Las encuestas están distribuidas uniformemente entre hombres y mujeres, siendo estos porcentajes 47% y 53% respectivamente y se ilustra en la Figura 6, en lo que se concluye que fueron entrevistadas más mujeres que hombres.

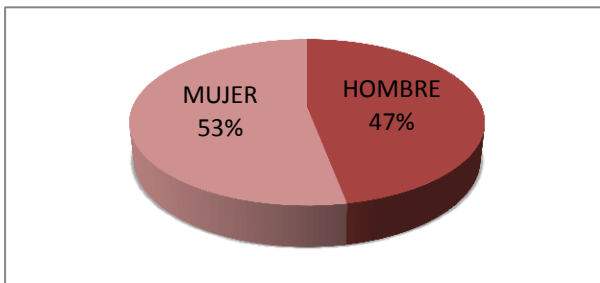


Figura 6. Distribución de las encuestas por sexo

En la encuesta se preguntaba al usuario si la edad estaba en el intervalo de menos de 30 años o de 31 a 50 o de más de 50 años; en su mayoría las encuestas de preferencias declaradas fueron realizadas a personas menores de 50 años, representando estas el 72% del total encuestado como muestra la Figura 7.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

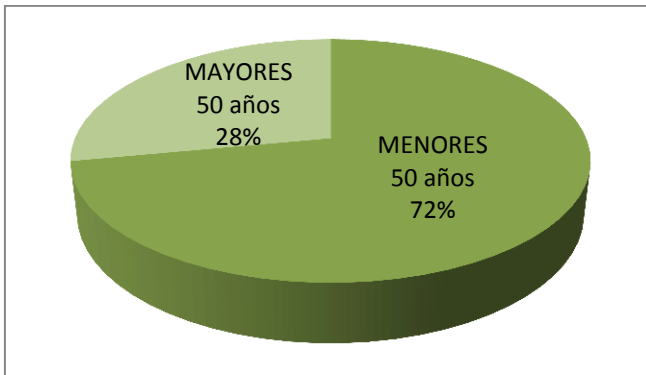


Figura 7. Distribución de las encuestas por edad

La variable edad está dividida en 3 intervalos en el capítulo 8 esta variable se agrupa formando 2 intervalos, con el fin de mejorar su influencia en la decisión de viaje.

Tabla 17. Medio de transporte utilizado para llegar a los dos aeropuertos

RESPUESTA	MEDICIÓN	PORCENTAJE
Auto Particular	77	38.5%
Taxi	99	49.5%
Colectivo	19	9.5%
Bus	5	2.5%
Totales	200	100%

Fuente. Elaboración propia

En la encuesta se indagaba sobre el viaje que se estaba realizando en el momento de la entrevista, de la Tabla 17 se obtiene que el medio más utilizado para llegar al aeropuerto es el taxi, representando este casi la mitad de las respuestas, seguido por el auto particular que explica el 38.5% de las consultas, el medio de transporte representativo en la muestra es el público que corresponde a que un 61,5% de los usuarios del modo aéreo utilizan el servicio público para llegar al aeropuerto

Tabla 18. Distribución de encuestas por estrato

ESTRATO	MEDICIÓN	PORCENTAJE
1	0	0.0%
2	7	3.5%
3	67	33.5%
4	57	28.5%
5	44	22.0%
6	25	12.5%
Totales	200	100%

Fuente. Elaboración propia

De la tabla 18 se extrae que la mayoría de las encuestas están agrupadas dentro de los estratos medios y altos representando esto el 96,5% del total de individuos encuestados,

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

situación que podría explicar que este es un medio de transporte costoso comparado con otros.

Tabla 19. Distribución de encuestas por ingresos

INGRESOS	MEDICIÓN	PORCENTAJE
\$0-\$1.000.000	40	20.0%
\$1.000.000-\$2.000.000	58	29.0%
\$2.000.000-\$3.000.000	52	26.0%
Más de \$3.000.000	50	25.0%
Totales	200	100%

Fuente. Elaboración propia

La Tabla 19 muestra como la población está distribuida uniformemente entre los diferentes rangos de ingreso expuestos y se encuentra que aproximadamente el 51% de los individuos tiene ingresos por encima de \$2.000.000



Figura 8. Distribución de las encuestas por quien paga el tiquete

En el desarrollo de la encuesta se indagó sobre el viaje que el individuo iba a realizar, es así como de la Figura 8 se puede extraer que el 57% afirman que el viaje es pagado por la empresa o por otra persona.

De la variedad de ocupaciones descritas en la Tabla 20, se observa que la mayoría de las personas encuestadas fueron profesionales siendo estos representados en un 33%, pero si se reagrupan las ocupaciones de los individuos se encuentra que aproximadamente el 65% labora en el sector privado o público

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 20. Distribución de encuestas por ocupación

OCUPACIÓN	MEDICIÓN	PORCENTAJE
ESTUDIANTE	15	7,5%
COMERCIANTE	20	10,0%
GERENTE	13	6,5%
PROFESIONAL	66	33,0%
EMPLEADO PUBLICO	20	10,0%
AMA DE CASA	17	8,5%
INDEPENDIENTE	19	9,5%
JUBILADO	16	8,0%
RELIGIOSO	3	1,5%
ADMINISTRATIVO	11	5,5%
Totales	200	100%

Fuente. Elaboración propia

La mayoría de viajes que realizan los individuos lo realizan por trabajo y negocios como se muestra en la Tabla 21, representando este el 59% del total de observaciones, seguido de viajes por vacaciones explicados en el 26,5% del total de las encuestas. En general los viajes por trabajo o negocios representan la mayoría de las observaciones; relacionando este análisis con la figura 8, se observa que la mayoría de estos viajes son pagados por la empresa.

Tabla 21. Distribución de encuestas por motivo de la mayoría de los viajes

MOTIVO	MEDICIÓN	PORCENTAJE
TRABAJO	90	45,0%
NEGOCIOS	28	14,0%
VACACIONES	53	26,5%
ESTUDIO	8	4,0%
OTRAS RAZONES	21	10,5%
Totales	200	100%

Fuente. Elaboración propia

La mayoría de los individuos le es indiferente el tipo de avión en los que prefieren viajar, estando este comportamiento representado por el 48,5% del total de las observaciones tal como se indica en la Tabla 22; si se analiza el resto de observaciones se puede notar que el 64 % del resto de los encuestados opta por naves de menos de 100 pasajeros.

Tabla 22. Distribución de encuestas por tipo de avión en el que se prefiere viajar

TIPO DE AVIÓN	MEDICIÓN	PORCENTAJE
MENOS DE 50 pas	13	6,5%
50 pas -100 pas	53	26,5%
MAS DE 100 pas	37	18,5%
INDIFERENTE	97	48,5%
Totales	200	100%

Fuente. Elaboración propia

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

La Tabla 23 revela que el 42,5% de los individuos encuestados viaja sin maleta esto sin contar el equipaje de mano, situación que podría explicar que el viaje a realizar es por corto tiempo

Tabla 23. Distribución de encuestas por cantidad de maletas llevadas

CANTIDAD DE MALETAS	MEDICIÓN	PORCENTAJE
0 maletas	85	42,5%
1 maleta	98	49,0%
≥ 2 maletas	17	8,5%
Totales	200	100%

Fuente. Elaboración propia

En la Tabla 24 se puede observar que el 73% de los individuos encuestados viaja sin acompañante y cuando viajan acompañados tiene más peso el viajar con más de 2 acompañantes.

Tabla 24. Distribución de las encuestas por número de acompañantes en el viaje

ACOMPANANTES	MEDICIÓN	PORCENTAJE
Sin acompañante	147	73,5%
1 acompañante	22	11,0%
≥ 2 acompañantes	31	15,5%
Totales	200	100%

Fuente. Elaboración propia

El 42,5 % de los encuestados manifiestan realizar menos de 5 viajes al año por trayecto tal como lo muestra la Tabla 25. Realizar más de 10 viajes está representado en un 30% de los individuos encuestados lo que puede indicar que son altos ejecutivos que utilizan frecuentemente este medio de transporte

Tabla 25. Distribución de encuestas por viajes realizados al año

CANTIDADES DE VIAJES	MEDICIÓN	PORCENTAJE
Menos de 5 viajes	85	42,5%
Entre 5 y 10 viajes	55	27,5%
más de 10 viajes	60	30,0%
Totales	200	100%

Fuente. Elaboración propia

Casi la mitad de los individuos encuestados realizan la reserva del viaje con menos de 5 días de anticipación como indica la Tabla 26, lo cual explica que la mayoría de los viajes son reservados con menos de 10 días de anticipación al vuelo, situación que es frecuente en viajes de trabajo, mientras que los realizados por vacaciones son reservados con más de 10 días de anticipación.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 26. Distribución de encuestas por tiempo de reserva

TIEMPO DE RESERVA	MEDICIÓN	PORCENTAJE
Menor a 5 días	88	44,0%
Entre 5 y 10 días	69	34,5%
más de 10 días	43	21,5%

Fuente. Elaboración propia

La Tabla 27 se indica para el trayecto Medellín-Bogotá, cuantas de las 1.080 observaciones realizadas escoge el aeropuerto EOH o el JMC, es así que en las preferencias declaradas el 65,8% de los encuestados declara escoger el aeropuerto EOH para iniciar su viaje con destino a Bogotá.

Tabla 27. Porcentaje de elección por alternativa para el destino Bogotá

ELECCIÓN	MEDICIÓN	PORCENTAJE
JMC	369	34,2%
EOH	711	65,8%
Total	1080	100%

Fuente. Elaboración propia

La Tabla 28 muestra que para el trayecto Medellín-Cali se tienen 720 observaciones de las preferencias declaradas, allí los individuos manifiestan en un porcentaje del 75,8% realizar el viaje partiendo del aeropuerto EOH.

Tabla 28. Porcentaje de elección por alternativa para el destino Cali

ELECCIÓN	MEDICIÓN	PORCENTAJE
JMC	174	24,2%
EOH	546	75,8%
Total	720	100%

Fuente. Elaboración propia

8. FORMULACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL MODELO

8.1 ESPECIFICACIÓN DEL MODELO

El proceso de modelación con datos de preferencias declaradas tiene varias etapas: Inicialmente se realiza un análisis general de los datos, en el cual se da una descripción de las variables a tener en cuenta, y los signos esperados para cada una de ellas en las funciones de utilidad, posteriormente se calibra los modelos con los datos de PD, con el objeto de encontrar las variables significativas, y por último con la función de utilidad obtenida se calculan las cuotas del mercado de cada uno de los aeropuertos para cada uno de los trayectos a estudiar

8.2 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

Las variables explicativas tanto para el modelo con destino Bogotá como destino Cali, se describen en la Tabla 29 presentada a continuación

Tabla. 29. Variables explicativas

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
CT	Costo del tiquete aéreo
CD	Costo del desplazamiento al aeropuerto
TV	Tiempo de viaje al aeropuerto

Fuente: Elaboración Propia

La descripción de todas las variables contenidas en la base de datos se indica en la Tabla 30 la cual se muestra a continuación:

Tabla. 30. Variables contenidas en la base de datos de PD correspondiente a los destinos Bogotá y Cali

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
ID	Identificación del individuo
CT1	Costo del tiquete aéreo alternativa 1. JMC
CD1	Costo de desplazamiento al aeropuerto JMC
TV1	Tiempo de viaje al aeropuerto JMC
CT2	Costo del tiquete aéreo alternativa 2. EOH
CD2	Costo de desplazamiento al aeropuerto EOH
TV2	Tiempo de viaje al aeropuerto EOH
LU	Lugar de la encuesta: 0 JMC, 1 EOH
SEX	Género: 0 masculino, 1 femenino
ED	Edad: 0 menores de 50 años, 1 mayores de 50 años
OC1	Ocupación 1: 1 estudiante, 0 otra ocupación
OC2	Ocupación 2: 1 comerciante, 0 otra ocupación
OC3	Ocupación 3: 1 gerente, 0 otra ocupación

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 30. Continuación

OC4	Ocupación 4: 1 profesional, 0 otra ocupación
OC5	Ocupación 5: 1 empleado público, 0 otra ocupación
OC6	Ocupación 6: 1 ama de casa, 0 otra ocupación
OC7	Ocupación 7: 1 independiente, 0 otra ocupación
OC8	Ocupación 8: 1 jubilado, 0 otra ocupación
OC9	Ocupación 9: 1 religioso, 0 otra ocupación
OC10	Ocupación 10: 1 administrativo, 0 otra ocupación
VI	Viajes que realiza al año por trayecto: 1 de 0 a 5 viajes, 2 de 6 a 10 viajes, 3 más de 11 viajes
MOT1	Motivo de la mayoría de los viajes: 1 trabajo, 0 otro motivo
MOT2	Motivo de la mayoría de los viajes: 1 Negocios, 0 otro motivo
MOT3	Motivo de la mayoría de los viajes: 1 vacaciones, 0 otro motivo
MOT4	Motivo de la mayoría de los viajes: 1 estudio, 0 otro motivo
MOT5	Motivo de la mayoría de los viajes: 1 otras razones, 0 caso contrario
NAV1	Tipo de avión en los que prefiere viajar: 1 menores a 50 pasajeros, 0 otro caso
NAV2	Tipo de avión en los que prefiere viajar: 1 entre 51 y 100 pasajeros, 0 otro caso
NAV3	Tipo de avión en los que prefiere viajar: 1 más de 101 pasajeros, 0 otro caso
NAV4	Tipo de avión en los que prefiere viajar: 1 es indiferente, 0 otro caso
VP1	Viaje pagado por: 1 el encuestado, 0 otro
VP2	Viaje pagado por: 1 la empresa, 0 otro
VP3	Viaje pagado por: 1 otra persona, 0 caso contrario
DV1	La decisión de viajar por el aeropuerto donde se realiza la encuesta es tomada por: 1 el encuestado, 0 otro
DV2	La decisión de viajar por el aeropuerto donde se realiza la encuesta es tomada por: 1 la empresa, 0 otro
DV3	La decisión de viajar por el aeropuerto donde se realiza la encuesta es tomada por: 1 otra persona, 0 caso contrario
HD1	Hora de despegue: 1 en la mañana, 0 otra hora
HD2	Hora de despegue: 1 en la tarde, 0 otra hora
HD3	Hora de despegue: 1 en la noche, 0 otra hora
MT1	Medio de transporte empleado para llegar al aeropuerto: 1 Auto particular, 0 otro caso
MT2	Medio de transporte empleado para llegar al aeropuerto: 1 Taxi, 0 otro caso
MT3	Medio de transporte empleado para llegar al aeropuerto: 1 colectivo, 0 otro caso
MT4	Medio de transporte empleado para llegar al aeropuerto: 1 bus, 0 otro caso
TR	Tiempo de reserva: 1 de 0 a 5 días, 2 de 6 a 10 días, 3 más de 11 días
AC1	Acompañantes en el vuelo: 1 solo, 0 otro caso
AC2	Acompañantes en el vuelo: 1 con un acompañante, 0 otro caso
AC3	Acompañantes en el vuelo: 1 más de dos acompañantes, 0 otro caso
EQ1	Equipaje aparte del de mano: 1 sin maletas, 0 otro caso
EQ2	Equipaje aparte del de mano: 1 con una maletas, 0 otro caso
EQ3	Equipaje aparte del de mano: 1 mas e 2 maletas, 0 otro caso
ING1	Ingresos mensuales: 1 menores a 1 millón, 0 otro caso
ING2	Ingresos mensuales: 1 entre 1 millón y 2 millones, 0 otro caso
ING3	Ingresos mensuales: 1 entre 2 millones y 3 millones, 0 otro caso
ING4	Ingresos mensuales: mayores a 3 millones, 0 otro caso
ES2	1 Estrato 2, 0 otro caso
ES3	1 Estrato 3, 0 otro caso
ES4	1 Estrato 4, 0 otro caso
ES5	1 Estrato 5, 0 otro caso
ES6	1 Estrato 6, 0 otro caso
CHOICE	Alternativa elegida
Av1	Disponibilidad alternativa 1. JMC
Av2	Disponibilidad alternativa 2. EOH

Fuente: Elaboración Propia

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Se determina cuáles serían los signos esperados para las variables a incluir en el modelo, dentro de la función de Utilidad, tal como se relaciona en la tabla 31

Tabla. 31. Relación de signos esperados para las variables de las funciones de Utilidad

Variable		Signo
CT _i	Costo del tiquete aéreo	(-)
CD _i	Costo del desplazamiento al aeropuerto	(-)
TV _i	Tiempo de viaje al aeropuerto	(-)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de Correlación entre Variables

En algunos casos los modelos estimados pueden generar resultados no significativos, esto se debe a la correlación que existe entre algunas de las variables que contiene la función de Utilidad. A continuación en las Tablas 32 y 33, se realiza el análisis tanto para la base datos con destino Bogotá como para el destino Cali, discriminado en cada uno el aeropuerto analizado.

Tabla 32. Análisis de Correlación en los datos del destino Bogotá

JMC

	CD	CT	TV
CD	1,00		
CT	0,00	1,00	
TV	0,00	0,00	1,00

EOH

	CD	CT	TV
CD	1,00		
CT	-0,57	1,00	
TV	-0,03	0,00	1,00

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla 33. Análisis de Correlación en los datos del destino Cali

JMC

	CD	CT	TV
CD	1,00		
CT	0,00	1,00	
TV	0,00	0,00	1,00

EOH

	CD	CT	TV
CD	1,00		
CT	0,16	1,00	
TV	-0,03	0,00	1,00

FUENTE: Elaboración Propia

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

En el caso de los dos aeropuertos la correlación entre las variables costo de desplazamiento, costo del tiquete y tiempo de viaje para llegar al aeropuerto es baja ($<0,7$), por lo tanto se pueden incluir en la misma función de utilidad.

8.3. ESTIMACIÓN DEL MODELO

Inicialmente se calibra el modelo para los datos de preferencias declaradas tanto para Bogotá como para Cali, se probó diversas expresiones para la función de utilidad, donde muchas de las variables no fueron estadísticamente significativas.

8.3.1 Modelo Logit Multinomial (MNL)

En un primer paso se corre el modelo MNL-01 con la base de datos de las variables descritas en la Tabla. 30. Variables contenidas en la base de datos de PD correspondientes a los destinos Bogotá y Cali, arrojando los resultados descritos en la Tabla 34.

Tabla. 34. Resultados MNL según base de datos inicial

VARIABLE	PARAMETRO	MNL-01 Bogotá		MNL-01 Cali	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T
	β_1	-0,946	0	1.91	0.00
	β_2	Fijo			
CT	θ_{ct}	-0,0000159	-8,27	-0,0000181	-7,71
CD	θ_{cd}	-0,0000175	<u>0</u>	-0,000028	-4,74
TV	θ_{tv}	-0,0187	-2,21	-0,0298	-2,37
SEX	θ_{sex}	0,397	1,96	-0,809	<u>-1,64</u>
ED	θ_{ed}	0,877	3,31	0,0934	<u>0,18</u>
OC1	θ_{oc1}	3,45	<u>0,55</u>	0,199	<u>0</u>
OC2	θ_{oc2}	3,07	<u>0,51</u>	-0,254	<u>0</u>
OC3	θ_{oc3}	2,13	<u>0,35</u>	2,82	<u>0</u>
OC4	θ_{oc4}	2,62	<u>0,43</u>	-0,247	<u>0</u>
OC5	θ_{oc5}	2,87	<u>0,47</u>	-2,67	<u>0</u>
OC6	θ_{oc6}	2,47	<u>0,41</u>	1,67	<u>0</u>
OC7	θ_{oc7}	2,99	<u>0,49</u>	0,717	<u>0</u>
OC8	θ_{oc8}	1,87	<u>0,30</u>	0,582	<u>0</u>
OC9	θ_{oc9}	0,637	<u>0,10</u>	0	<u>0</u>
OC10	θ_{oc10}	2,87	<u>0,47</u>	-0,9	<u>0</u>
VI	θ_{vi}	0,265	<u>0</u>	-0,233	<u>-0,68</u>
MOT1	θ_{mot1}	-0,686	<u>0</u>	-0,466	<u>0</u>

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 34. Continuación

MOT2	θ_{mot2}	-0,00921	<u>0</u>	0,12	<u>0</u>
MOT3	θ_{mot3}	-0,130	<u>0</u>	0,0388	<u>0</u>
MOT4	θ_{mot4}	-1,030	<u>0</u>	2,8	<u>0</u>
MOT5	θ_{mot5}	0,909	<u>0</u>	-0,578	<u>0</u>
NAV1	θ_{nav1}	-0,697	<u>0</u>	-1,07	<u>0</u>
NAV2	θ_{nav2}	-0,352	<u>0</u>	-1,02	<u>0</u>
NAV3	θ_{nav3}	-0,254	<u>0</u>	2,82	<u>0</u>
NAV4	θ_{nav4}	0,358	<u>0</u>	1,18	<u>0</u>
VP1	θ_{vp1}	-0,586	<u>0</u>	0,293	<u>0</u>
VP2	θ_{vp2}	-0,671	<u>0</u>	0,316	<u>0</u>
VP3	θ_{vp3}	0,312	<u>0</u>	1,31	<u>0</u>
DV1	θ_{dv1}	0,0867	<u>0</u>	0,508	<u>0</u>
DV2	θ_{dv2}	-0,208	<u>0</u>	0,246	<u>0</u>
DV3	θ_{dv3}	-0,824	<u>0</u>	1,16	<u>0</u>
MT1	θ_{mt1}	1,53	<u>0</u>	3,53	<u>0</u>
MT2	θ_{mt2}	0,273	<u>0</u>	2,56	<u>0</u>
MT3	θ_{mt3}	-0,511	<u>0</u>	1,04	<u>0</u>
MT4	θ_{mt4}	-0,341	<u>0</u>	-9,05	<u>0</u>
TR	θ_{tr}	0,397	1,21	1,11	3,93
AC1	θ_{ac1}	0,460	<u>0</u>	-1,64	<u>0</u>
AC2	θ_{ac2}	0,000	<u>0</u>	-0,0641	<u>0</u>
AC3	θ_{ac3}	0,000	<u>0</u>	-0,213	<u>0</u>
EQ1	θ_{eq1}	0,212	<u>0</u>	0,555	<u>0</u>
EQ2	θ_{eq2}	0,274	<u>0</u>	-1,65	<u>0</u>
EQ3	θ_{eq3}	0,460	<u>0</u>	-0,823	<u>0</u>
ING1	θ_{ing1}	0,129	<u>0</u>	0,969	<u>0</u>
ING2	θ_{ing2}	0,233	<u>0</u>	-0,186	<u>0</u>
ING3	θ_{ing3}	0,192	<u>0</u>	-1,79	<u>0</u>
ING4	θ_{ing4}	0,775	<u>0</u>	-0,909	<u>0</u>
ES2	θ_{es2}	-0,425	<u>0</u>	-12,7	<u>0</u>
ES3	θ_{es3}	0,920	<u>0</u>	1,59	<u>0</u>
ES4	θ_{es4}	0,654	<u>0</u>	2,66	<u>0</u>
ES5	θ_{es5}	0,538	<u>0</u>	1,36	<u>0</u>
ES6	θ_{es6}	-0,742	<u>0</u>	5,13	<u>0</u>
Razón de Verosimilitud	L0	-538,595		-223,795	
Rho cuadrado	ρ^2	0,281		0,552	

Fuente: Elaboración Propia

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Dentro de la base de datos del modelo MNL-01 Bogotá y MNL-01 Cali, no se incluyeron las variables LU (Lugar donde se realizó la encuesta) ni HD01-HD02-HD03 (Hora de despegue); ya que esta última dependía de la hora que se realizó la encuesta en la sala de espera para abordaje del vuelo; además la HD03 no se puede evaluar en el EOH, debido a que no existen vuelos nocturnos.

Las variables de los modelos MNL-01 para cada destino en su mayoría no dieron estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Para que algunas variables dieran significativas, se generaron unas nuevas como producto de agrupación entre ellas tal como se indica en la tabla 35, y esto se realizó con el fin de obtener mejores parámetros estadísticos.

Se probaron varios modelos con distintas especificaciones, estos modelos difieren en el número de variables estimadas.

Tabla 35. Variables agrupadas

Variable Original	Variable Agrupada	Descripción
MOT1-MOT2-MOT3-MOT4-MOT5	MOTAG	Motivo de la mayoría de los viajes: 1 Trabajo o Negocios, 0 otro motivo
NAV1-NAV2-NAV3-NAV4	NAVAG	Tipo de avión en los que prefiere viajar: 1 menores a 100 pasajeros, 0 mayores a 100 pasajeros (cuando era indiferente se agrupó en menores a 100 pasajeros)
VP1-VP2-VP3	VPAG	Viaje pagado por: 1 el encuestado, 0 otro (Empresa u otra persona)
DV1-DV2-DV3	DVAG	La decisión de viajar por el aeropuerto donde se realiza la encuesta es tomada por: 1 el encuestado, 0 otro (Empresa u otra persona)
MT1-MT2-MT3-MT4	MTAG	Medio de transporte empleado para llegar al aeropuerto: 1 Particular, 0 Público
AC1-AC2-AC3	ACAG	Acompañantes en el vuelo: 1 si viaja solo, 0 Acompañado
EQ1-EQ2-EQ3	EQAG	1 sin maletas, 0 Con Equipaje
ES2-ES3-ES4-ES5-ES6	ESAG	1 Estratos bajos (2-3), 0 Estratos Altos (4-5-6)

FUENTE: Elaboración Propia

8.3.1.1 Modelo Logit Multinomial (MNL). Destino Bogotá

Se probaron varios modelos con distintas especificaciones teniendo en cuenta retirar las variables que no son estadísticamente significativas al 95% de confianza y volviendo a correr un nuevo modelo con las variables que cumplían los test estadísticos, estos modelos difieren en el número de variables estimadas. Sus valores y correspondientes test-T, se pueden observar en la Tabla 36. Resultados MNL Bogotá con base de datos de variables agrupadas.

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 36. Resultados MNL Bogotá con base de datos de variables agrupadas

VARIABLE	PARAMETRO	MNL-02		MNL-03		MNL-04		MNL-05	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T	Valor	Test-T	Valor	Test-T
	β_1	-0,55	-2,23	-0,88	-1,80	-0,369	-0,97	-0,313	-0,83
	β_2	Fijo		Fijo		Fijo		Fijo	
CT	θ_{ct}	-0,0000128	-7,72	-0,0000142	-8,06	-0,0000141	-8,03	-0,0000140	-8,68
CD	θ_{cd}	-0,0000142	-4,48	-0,0000158	-4,7	-0,0000157	-4,68	-0,0000156	-4,68
TV	θ_{tv}	-0,015	-2,19	-0,0168	-2,34	-0,0167	-2,32	-0,0166	-2,32
SEX	θ_{sex}			0,542	3,41	0,514	3,31	0,615	3,96
ED	θ_{ed}			0,869	4,52	0,871	4,62	0,720	3,98
VI	θ_{vi}			0,0190	0,19				
MOTAG	θ_{motag}			0,427	2,08	0,458	2,72	0,352	2,05
NAVAG	θ_{navag}			0,437	2,04	0,485	2,37		
VPAG	θ_{vpag}			0,0793	0,39				
DVAG	θ_{dvag}			0,346	1,73			0,336	2,13
MTAG	θ_{mtag}			0,972	5,45	1,05	6,5	1,04	6,39
TR	θ_{tr}			0,214	2,12	0,256	2,7	0,232	2,5
ACAG	θ_{acag}			-0,112	-0,58				
EQAG	θ_{eqag}			0,257	1,64				
ESAG	θ_{esag}			0,156	1,00				
Razón de Verosimilitud	L0	-645,680		-594,004		-597,962		-598,582	
Rho cuadrado	ρ^2	0,137		0,207		0,201		0,200	

FUENTE: Elaboración Propia

El modelo MNL-02 se corrió solo con la variables evaluadas en la encuesta como son, el costo del tiquete, costo de desplazamiento al aeropuerto y tiempo de viaje para llegar al aeropuerto, es por esto que este modelo es el más general de todos los MNL para el destino Bogotá.

8.3.1.2 Modelo Logit Multinomial (MNL). Destino Cali

Partiendo de un modelo inicial en el cual sólo tuvo en cuenta las variables básicas se obtiene los valores y correspondientes Test-T descritos en la Tabla 37 el modelo MNL-02 y el MNL-03 se corrieron con todas las variables agrupadas y para la obtención del modelo MNL-04 se descartaron las variables que en el modelo MNL-03 no cumplían la condición de ser estadísticamente significativas al 95% de confianza (t-test <1.96) y se generó el nuevo modelo.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 37. Resultados MNL Cali con base de datos de variables agrupadas

VARIABLE	PARAMETRO	MNL-02		MNL-03		MNL-04	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T	Valor	Test-T
	β_1	-0,967	-2,86	0,48	0,71	0,994	2,04
	β_2	Fijo		Fijo		Fijo	
CT	θ_{ct}	-0,0000107	-6,54	-0,0000121	-6,89	-0,000012	-6,85
CD	θ_{cd}	-0,0000165	-3,76	-0,0000188	-4,00	-0,0000186	-3,98
TV	θ_{tv}	-0,0179	<u>-1,87</u>	-0,0208	-2,05	-0,0205	-2,03
SEX	θ_{sex}			0,0673	<u>0,29</u>		
ED	θ_{ed}			0,0986	<u>0,4</u>		
VI	θ_{vi}			0,258	<u>1,6</u>		
MOTAG	θ_{motag}			1,13	3,88	0,888	4,08
NAVAG	θ_{navag}			1,22	4,06	1,26	5,13
VPAG	θ_{vpag}			0,0943	<u>0,37</u>		
DVAG	θ_{dvag}			0,223	<u>0,88</u>		
MTAG	θ_{mtag}			0,279	<u>1,32</u>		
TR	θ_{tr}			0,498	2,78	0,437	2,73
ACAG	θ_{acag}			0,165	<u>0,65</u>		
EQAG	θ_{eqag}			0,00532	<u>0,02</u>		
ESAG	θ_{esag}			0,707	3,14	0,709	3,25
Razón de Verosimilitud	L0	-362,887		-323,561		-327,420	
Rho cuadrado	ρ^2	0,273		0,352		0,344	

FUENTE: Elaboración Propia

8.3.2 Modelo Logit mixto (ML)

Se probaron varias especificaciones del modelo basándose en los mejores modelos arrojados del MNL, para ambos destinos se tomó como base el MNL-04, el cual posteriormente se elegirá como el mejor de los MNL

8.3.2.1 Modelo Logit mixto (ML). Destino Bogotá.

En la Tabla 38 se aplica la misma secuencia descrita en modelos MNL en la cual siempre se estima un nuevo modelo partiendo del anterior pero retirando las variables que no dieron estadísticamente significativas al 95% de confianza

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 38. Resultados ML Bogotá con base de datos de variables agrupadas

VARIABLE	PARAMETRO	ML-01		ML-02		ML-03		ML-04	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T	Valor	Test-T	Valor	Test-T
	β_1	-0,586	<u>0,280</u>	-0,900	<u>-1,75</u>	-0,0911	<u>-0,24</u>	-0,153	<u>-0,50</u>
	β_2	Fijo		Fijo		Fijo		Fijo	
CT	θ_{ct}	-0,0000134	-5,83	-0,0000148	-6,47	-0,0000131	-7,72	-0,0000130	-7,60
CD	θ_{cd}	-0,0000172	-2,14	-0,0000182	-2,88	-0,0000161	-4,82	-0,0000164	-4,72
TV	θ_{tv}	-0,0149	-2,06	-0,0170	-2,25	-0,0211	-2,99	-0,0210	-2,97
SEX	θ_{sex}			0,563	3,31	0,496	3,24	0,507	3,34
ED	θ_{ed}			0,898	4,33	0,416	2,29	0,365	2,10
VI	θ_{vi}			0,0262	<u>0,25</u>				
MOTAG	θ_{motag}			0,451	2,06	0,513	3,10	0,582	3,6
NAVAG	θ_{navag}			0,441	1,98	0,164	<u>0,84</u>		
VPAG	θ_{vpag}			0,0943	<u>0,44</u>				
DVAG	θ_{dvag}			0,370	<u>1,74</u>				
MTAG	θ_{mtag}			1,01	5,13	0,67	4,34	0,681	4,42
TR	θ_{tr}			0,227	2,10	0,142	<u>1,54</u>		
ACAG	θ_{acag}			-0,138	<u>-0,67</u>				
EQAG	θ_{eqag}			0,262	1,60				
ESAG	θ_{esag}			0,159	<u>0,98</u>				
Sigma		0,0000196	<u>0,73</u>	0,0000188	<u>0,87</u>	0,00000169	<u>0,1</u>	0,00000263	<u>0,12</u>
Razón de Verosimilitud	L0	-645,553		-593,857		-604,270		-608,903	
Rho cuadrado	ρ^2	0,138		0,207		0,193		0,187	

Fuente: Elaboración Propia

En todos los modelos ML para el destino Bogotá, se presenta sigmas con un $t < |1.96|$, lo que indica que no hay una variación aleatoria de los datos.

8.3.2.2 Modelo Logit mixto (ML). Destino Cali.

La Tabla 39 indica que sólo el modelo ML-01, presenta un sigma significativo, lo que expresa que en este modelo existe una variación aleatoria de los datos, el resto de modelos ML no cumple esta condición.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 39. Resultados ML Cali con base de datos de variables agrupadas

VARIABLE	PARAMETRO	ML-01		ML-02		ML-03		ML-04	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T	Valor	Test-T	Valor	Test-T
	β_1	-0,938	0,385	0,572	0,8	0,717	1,26	1,09	2,1
	β_2	Fijo		Fijo		Fijo		Fijo	
CT	θ_{ct}	-0,0000117	-5,85	-0,0000129	-6,32	-0,0000127	-6,34	-0,0000127	-6,32
CD	θ_{cd}	-0,0000347	-2,37	-0,0000257	-2,87	-0,0000248	-2,89	-0,000025	-2,88
TV	θ_{tv}	-0,0218	-2,01	-0,0232	-2,13	-0,0228	-2,11	-0,0227	-2,11
SEX	θ_{sex}			0,0507	<u>0,21</u>				
ED	θ_{ed}			0,11	<u>0,42</u>				
VI	θ_{vi}			0,272	<u>1,59</u>	0,242	<u>1,49</u>		
MOTAG	θ_{motag}			1,2	3,82	1,19	4,05	0,939	4,02
NAVAG	θ_{navag}			1,28	3,98	1,23	4,55	1,33	4,98
VPAG	θ_{vpag}			0,1	<u>0,37</u>				
DVAG	θ_{dvag}			0,227	<u>0,85</u>				
MTAG	θ_{mtag}			0,3	<u>1,33</u>				
TR	θ_{tr}			0,517	2,73	0,446	2,64	0,446	2,64
ACAG	θ_{acag}			0,19	<u>0,7</u>				
EQAG	θ_{eqag}			0,0152	<u>0,06</u>				
ESAG	θ_{esag}			0,733	3,06	0,749	3,23	0,727	3,15
Sigma		-0,000045	-2,12	-0,0000259	-1,71	-0,0000242	-1,64	-0,0000247	-1,67
Razón de Verosimilitud	Lθ	-361,138		-322,951		-325,715		-326,843	
Rho cuadrado	ρ^2	0,276		0,353		0,347		0,345	

Fuente: Elaboración Propia

8.4 TEST Y RANKING DE LOS MODELOS

Se describe a continuación el ranking realizado con base en los modelos estimados a lo largo de la investigación. La lógica aplicada para realizar este escalonamiento fue analizar en primer lugar que los signos de las variables incluidas fueran los correctos de acuerdo a las hipótesis iniciales. Luego, se revisó que las variables más relevantes desde el punto de vista de explicar la utilidad asociada al viaje fueran significativas estadísticamente al 95% de confianza (o estuvieran muy cerca de estarlo) (test t); y finalmente se examinó los resultados de los test rho-cuadrado (ρ^2) y el valor del test de razón de verosimilitud L (θ).

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

8.4.1 Ranking destino Bogotá

La Tabla 40 corresponde a un resumen de los modelos MNL obtenidos para el trayecto Medellín-Bogotá

Tabla 40. Resumen modelos MNL para Bogotá

VARIABLE	PARAMETRO	MNL-02	MNL-03	MNL-04	MNL-05
		Valor / Test-T	Valor / Test-T	Valor / Test-T	Valor / Test-T
	β_1	-0,55 (-2,23)	-0,88 (-1,80)	-0,369 (0,97)	-0,313 (-0,83)
	β_2	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo
CT	θ_{ct}	-0,0000128 (-7,72)	-0,0000142 (-8,06)	-0,0000141 (-8,03)	-0,0000140 (-8,68)
CD	θ_{cd}	-0,0000142 (-4,48)	-0,0000158 (-4,7)	-0,0000157 (-4,68)	-0,0000156 (-4,68)
TV	θ_{tv}	-0,015 (-2,19)	-0,0168 (-2,34)	-0,0167 (-2,32)	-0,0166 (-2,32)
SEX	θ_{sex}		0,542 (3,41)	0,514 (3,31)	0,615 (3,96)
ED	θ_{ed}		0,869 (4,52)	0,871 (4,62)	0,720 (3,98)
VI	θ_{vi}		0,0190 (0,19)		
MOTAG	θ_{motag}		0,427 (2,08)	0,458 (2,72)	0,352 (2,05)
NAVAG	θ_{navag}		0,437 (2,04)	0,485 (2,37)	
VPAG	θ_{vpag}		0,0793 (0,39)		
DVAG	θ_{dvag}		0,346 (1,73)		0,336 (2,13)
MTAG	θ_{mtag}		0,972 (5,45)	1,05 (6,5)	1,04 (6,39)
TR	θ_{tr}		0,214 (2,12)	0,256 (2,7)	0,232 (2,5)
ACAG	θ_{acag}		-0,112 (-0,58)		
EQAG	θ_{eqag}		0,257 (1,64)		
ESAG	θ_{esag}		0,156 (1,00)		
Razón de Verosimilitud	Lθ	-645,680	-594,004	-597,962	-598,582
Rho cuadrado	ρ^2	0,137	0,207	0,201	0,200

Fuente: Elaboración Propia

Siguiendo los criterios de escalonamiento y basados en la Tabla 40, se tiene que los mejores modelos MNL son el 4 y 5 ya que tienen igual número de variables significativas, El MNL-04 posee mayor valor para el test estadístico ρ^2 , se elige el modelo MNL-04 como el mejor por tener el nivel de significancia de sus variables dentro del 95% de confianza. En el modelo MNL-03 algunas variables no son estadísticamente significativas al 95% de confianza. Dicho análisis se extrae en la Tabla 41. Ranking de Modelos MNL para el destino Bogotá.

TESIS DE MAESTRÍA

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 41. Ranking de Modelos MNL para el destino Bogotá

Ranking	Modelo	Signos	Significancia Test $T \geq 1.96 $	ρ^2	L θ
1	MNL-04	SI	SI	0,201	-597,962
2	MNL-05	SI	SI	0,200	-598,582
3	MNL-02	SI	SI	0,137	-645,680
4	MNL-03	SI	NO	0,207	-594,004

Fuente: Elaboración Propia

De igual manera se genera una tabla resumen para obtener el ranking de los modelos ML para el destino Bogotá, dicho resumen está contenido en la Tabla 42.

Tabla 42. Resumen modelos ML para Bogotá

VARIABLE	PARAMETRO	ML-01	ML-02	ML-03	ML-04
		Valor / Test-T	Valor / Test-T	Valor / Test-T	Valor / Test-T
	β_1	-0,586 (0,280)	-0,900 (-1,75)	-0,0911 (-0,24)	-0,153 (-0,50)
	β_2	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo
CT	θ_{ct}	-0,0000134 (-5,83)	-0,0000148 (-6,47)	-0,0000131 (-7,72)	-0,0000130 (-7,60)
CD	θ_{cd}	-0,0000172 (-2,14)	-0,0000182 (-2,88)	-0,0000161 (-4,82)	-0,0000164 (-4,72)
TV	θ_{tv}	-0,0149 (-2,06)	-0,0170 (-2,25)	-0,0211 (-2,99)	-0,0210 (-2,97)
SEX	θ_{sex}		0,563 (3,31)	0,496 (3,24)	0,507 (3,34)
ED	θ_{ed}		0,898 (4,33)	0,416 (2,29)	0,365 (2,10)
VI	θ_{vi}		0,0262 (0,25)		
MOTAG	θ_{motag}		0,451 (2,06)	0,513 (3,10)	0,582 (3,6)
NAVAG	θ_{navag}		0,441 (1,98)	0,164 (0,84)	
VPAG	θ_{vpag}		0,0943 (0,44)		
DVAG	θ_{dvag}		0,370 (1,74)		
MTAG	θ_{mtag}		1,01 (5,13)	0,67 (4,34)	0,681 (4,42)
TR	θ_{tr}		0,227 (2,10)	0,142 (1,54)	
ACAG	θ_{acag}		-0,138 (-0,67)		
EQAG	θ_{eqag}		0,262 (1,60)		
ESAG	θ_{esag}		0,159 (0,98)		
Sigma		0,0000196 (0,73)	0,0000188 (0,87)	0,00000169 (0,10)	0,00000263 (0,12)
Razón de Verosimilitud	Lθ	-645,553	-593,857	-604,270	-608,903
Rho cuadrado	ρ^2	0,138	0,207	0,193	0,187

Fuente: Elaboración Propia

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Basados en la Tabla resumen presentada anteriormente, se genera el ranking de los modelos ML para el trayecto Medellín-Bogotá

Tabla 43. Ranking de Modelos ML para el destino Bogotá

Ranking	Modelo	Signos	Significancia Test $T \geq 1.96 $	ρ^2	L0
1	ML-04	SI	NO	0,187	-608,903
2	ML-01	SI	NO	0,138	-645,553
3	ML-03	SI	NO	0,193	-604,270
4	ML-02	SI	NO	0,207	-593,857

Fuente: Elaboración Propia

Para el caso de los modelos ML, en la Tabla 43 se observa que ningún modelo cumple con las condiciones de que sus variables sean significativas al 95% de confianza.

Después de realizar el ranking de los modelos MNL y ML se define que el modelo MNL-04 es el mejor puesto que contiene variables dentro de la condición de ser significativas al 95% tal como muestra la Tabla 41

La formulación para el modelo MNL-04, que es el mejor para el destino Bogotá se presenta entre las ecuaciones 37 a 40

$$U_{JMC} = \beta_{JMC} + \theta_{CT} CT_{JMC} + \theta_{CD} CD_{JMC} + \theta_{TV} TV_{JMC} + \theta_{SEX} SEX + \theta_{ED} ED + \theta_{NAVAG} NAVAG \quad (37)$$

$$U_{EOH} = \beta_{EOH} + \theta_{CT} CT_{EOH} + \theta_{CD} CD_{EOH} + \theta_{TV} TV_{EOH} + \theta_{MTAG} MTAG + \theta_{TR} TR + \theta_{MOTAG} MOTAG \quad (38)$$

$$U_{JMC} = -0.369 - 0.0000141CT_{JMC} - 0.0000157CD_{JMC} - 0.0167TV_{JMC} + 0.514SEX + 0.871ED + 0.485NAVAG$$

$$U_{EOH} = -0.0000141CT_{EOH} - 0.0000157CD_{EOH} - 0.0167TV_{EOH} + 1.05MTAG + 0.256TR + 0.458MOTAG \quad (40)$$

Para el análisis de la variable **SEX**, viajar por el JMC representa para las mujeres un aumento en el valor de la utilidad, esto posiblemente se deba a que esta terminal represente comodidad para ellas, factor que no está evaluado en la encuesta.

La variable **ED** muestra como la utilidad aumenta para los usuarios mayores de 50 años que viajan por el JMC, esta situación se debe a que viajar por este aeropuerto representa mayor comodidad para los usuarios, además mayor confort en las salas de espera, situación que es favorable para personas de esa edad.

Retomando la Tabla 22 se puede observar que la mayoría de usuarios le es indiferente el tipo de avión para realizar el viaje, situación representada en un 48.5% de los usuarios, esta preferencia según la Tabla 35 en la variable agrupada **NAVAG**, quedó incluida en la

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

preferencia de aviones de menos de 100 pasajeros, relacionando este análisis con la función de utilidad para el JMC viajar por esta terminal representa mayor utilidad para las personas que les es indiferente el tipo de nave en el que se realiza el viaje, ya que en el JMC se encuentra todo tipo de aeronaves, mientras que el aeropuerto EOH está restringido para aeronaves de cierto número de pasajeros.

Con la variable **MTAG** (medio de transporte empleado para llegar al aeropuerto) se puede observar que representa mayor utilidad para aquellas personas que viajan en vehículo particular para llegar al EOH, dicha situación se debe a que esta terminal aeroportuaria está más cerca, entonces viajar allí se realiza fácilmente en auto particular posiblemente porque alguien lleva al pasajero, mientras que para llegar al JMC en auto particular representa un costo alto.

Para la variable **TR** (tiempo de reserva), si se reserva con suficientes días de anticipación el tiquete hacia Bogotá, esto representa una mayor utilidad si se hace por el EOH, ya que con esta medida es posible obtener mejores tarifas aéreas

En la evaluación de **MOTAG** (motivo del viaje), es claro que viajar por el EOH es más costoso en términos de tarifas aéreas, pero si se está haciendo un viaje por trabajo, representa para el usuario mayor utilidad hacerlo por el EOH, debido en gran porcentaje a que cuando se está realizando un viaje por trabajo o negocios es en su gran mayoría, la empresa quien costea el tiquete aéreo

El valor subjetivo del tiempo es la disposición que cada persona tiene a pagar por reducir sus tiempos de viaje o la compensación que está dispuesta a recibir por perder tiempo.

Se estima el valor subjetivo del tiempo (VST) utilizando la relación: θ_{tv}/θ_{cd} .

$$VST_{Bogotá} = \frac{-0.0167}{-0.0000157} = \$1063/\text{min} \quad (41)$$

El valor subjetivo del tiempo para el destino Bogotá representado en la ecuación 41, presenta un valor alto, esto indica que las personas que utilizan el modo aéreo tienen ingresos altos, y pueden acceder a este medio de transporte el cual es costoso en comparación con otros medios de transporte, adicional a este análisis cuando la empresa costea el tiquete, contribuye a que el valor subjetivo del tiempo sea alto, ya que al usuario no le importa el costo pagado por el tiquete.

Adicional al cálculo anterior se divide la base de datos según el sitio donde se desarrolló la encuesta, lo que quiere decir las 720 observaciones en el JMC y las 360 en el EOH; con estas nuevas bases de datos se obtiene un modelo para cada aeropuerto indicado en la Tabla 44

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 44. Modelos para cada aeropuerto en el destino Bogotá

VARIABLE	PARAMETRO	MNL-04 Con toda la base de datos		MNL-EOH		MNL-JMC	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T	Valor	Test-T
	β_1	-0,369	-0,97	3,27	3,46	-0,889	-2,53
	β_2	Fijo		Fijo		Fijo	
CD	θ_{cd}	-0,0000157	-4,68	-0,0000244	-3,20	-0,0000197	-4,88
CT	θ_{ct}	-0,0000141	-8,03				
TV	θ_{tv}	-0,0167	-2,32	-0,0382	-2,52	-0,0191	-2,34
SEX	θ_{sex}	0,514	3,31			0,538	3,12
ED	θ_{ed}	0,871	4,62			1,11	5,34
MOTAG	θ_{motag}	0,458	2,72				
MTAG	θ_{mtag}	1,05	6,5	2,49	5,45	0,645	3,45
NAVAG	θ_{navag}	0,485	2,37			0,767	3,64
TR	θ_{tr}	0,256	2,7	0,892	3,46		
EQAG	θ_{eqag}			1,43	3,42		
ESAG	θ_{esag}			1,17	3,35		
VI	θ_{vi}			1,21	5,19		
DVAG	θ_{dvag}					0,626	3,54
Razón de Verosimilitud	Lθ						
		-597,962		-140,098		-427,782	
Rho cuadrado	ρ^2						
		0,201		0,439		0,143	

Fuente: Elaboración Propia

Cuando se obtiene los modelos con las bases de datos tomados en el JMC y en el EOH, se observa que la variable costo del tiquete no es representativa, ambos modelos contienen 7 variables significativas, mientras que en el modelo con las dos bases de datos se tiene 9 variables significativas. Cuando se modela los datos obtenidos en cada aeropuerto separadamente se obtienen funciones de utilidad diferentes, situación que podría asemejarse al modelo con la base de datos total si se tuvieran muchos más datos, los cuales representarían mejor el comportamiento de los usuarios. Adicional la variación del valor del tiquete en el propio aeropuerto no es una variable significativa.

8.4.2 Ranking destino Cali

En el ranking para los modelos MNL y ML expuestos a continuación, se probaron diversas expresiones para la función de utilidad, donde muchas de las variables dieron no significativas y por lo tanto se seleccionaron los modelos que presentan mejores resultados y que se resumen en las Tablas 45 y 47

El modelo MNL-02 es el más general el cual contiene las variables básicas, en este la variable TV (Tiempo de Viaje al aeropuerto) no cumple la condición de ser estadísticamente significativa al 95% de confianza, el MNL-03 se modelo con todas las variables básicas y agrupadas y se observa que algunas de ellas no son estadísticamente

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

significativas al 95% de confianza, el MNL-04 es el único modelo que cumple con la condición de que sus variables son estadísticamente significativas al 95% de confianza

Tabla 45. Resumen modelos MNL para Cali

VARIABLE	PARAMETRO	MNL-02	MNL-03	MNL-04
		Valor (test-T)	Valor (test-T)	Valor (test-T)
	β_1	-0,967 (-2,86)	0,48 (0,71)	0,994 (2,04)
	β_2	Fijo	Fijo	Fijo
CT	θ_{ct}	-0,0000107 (-6,54)	-0,0000121 (-6,89)	-0,000012 (-6,85)
CD	θ_{cd}	-0,0000165 (-3,76)	-0,0000188 (-4,00)	-0,0000186 (-3,98)
TV	θ_{tv}	-0,0179 (-1,87)	-0,0208 (-2,05)	-0,0205 (-2,03)
SEX	θ_{sex}		0,0673 (0,29)	
ED	θ_{ed}		0,0986 (0,40)	
VI	θ_{vi}		0,258 (1,6)	
MOTAG	θ_{motag}		1,13 (3,88)	0,888 (4,08)
NAVAG	θ_{navag}		1,22 (4,06)	1,26 (5,13)
VPAG	θ_{vpag}		0,0943 (0,37)	
DVAG	θ_{dvag}		0,223 (0,88)	
MTAG	θ_{mtag}		0,279 (1,32)	
TR	θ_{tr}		0,498 (2,78)	0,437 (2,73)
ACAG	θ_{acag}		0,165 (0,65)	
EQAG	θ_{eqag}		0,00532 (0,02)	
ESAG	θ_{esag}		0,707 (3,14)	0,709 (3,25)
Razón de Verosimilitud	Lθ			
		-362,887	-323,561	-327,420
Rho cuadrado	ρ^2			
		0,273	0,352	0,344

Fuente: Elaboración Propia

Analizando la Tabla 46, en todos los casos se tiene que los signos son de acuerdo a lo esperado; al aplicar la prueba $T \geq |1.96|$, se observa que en los modelos 2 y 3 algunas de sus variables no son significativas al 95% de confianza. De esta forma el mejor modelo para este caso es el MNL-04.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 46. Ranking de Modelos MNL para el destino Cali

Ranking	Modelo	Signos	Significancia Test $T \geq 1.96 $	ρ^2	L θ
1	MNL-04	SI	SI	0,344	-327,420
2	MNL-03	SI	NO	0,352	-323,561
3	MNL-02	SI	NO	0,273	-362,887

FUENTE: Elaboración Propia

En la Tabla 47 se presenta el resumen de los modelos logit mixto obtenidos en el trayecto Medellín-Cali

Tabla 47. Resumen modelos ML para Cali

VARIABLE	PARAMETRO	ML-01	ML-02	ML-03	ML-04
		Valor/test-T	Valor/test-T	Valor/test-T	Valor/test-T
	β_1	-0,938 (0,385)	0,572 (0,8)	0,717 (1,26)	1,09 (2,10)
	β_2	Fijo	Fijo	Fijo	Fijo
CT	θ_{ct}	-0,0000117 (-5,85)	-0,0000129 (-6,32)	-0,0000127 (-6,34)	-0,0000127 (-6,32)
CD	θ_{cd}	-0,0000347 (-2,37)	-0,0000257 (-2,87)	-0,0000248 (-2,89)	-0,000025 (-2,88)
TV	θ_{tv}	-0,0218 (-2,01)	-0,0232 (-2,13)	-0,0228 (-2,11)	-0,0227 (-2,11)
SEX	θ_{sex}		0,0507 (0,21)		
ED	θ_{ed}		0,11 (0,42)		
VI	θ_{vi}		0,272 (1,59)	0,242 (1,49)	
MOTAG	θ_{motag}		1,2 (3,82)	1,19 (4,05)	0,939 (4,02)
NAVAG	θ_{navag}		1,28 (3,98)	1,23 (4,55)	1,33 (4,98)
VPAG	θ_{vpag}		0,1 (0,37)		
DVAG	θ_{dvag}		0,227 (0,85)		
MTAG	θ_{mtag}		0,3 (1,33)		
TR	θ_{tr}		0,517 (2,73)	0,446 (2,64)	0,446 (2,64)
ACAG	θ_{acag}		0,19 (0,70)		
EQAG	θ_{eqag}		0,0152 (0,06)		
ESAG	θ_{esag}		0,733 (3,06)	0,749 (3,23)	0,727 (3,15)
Sigma		-0,000045 (-2,12)	-0,0000259 (-1,71)	-0,0000242 (-1,64)	-0,0000247 (-1,67)
Razón de Verosimilitud	Lθ	-361,138	-322,951	-325,715	-326,843
Rho cuadrado	ρ^2	0,276	0,353	0,347	0,345

FUENTE: Elaboración Propia

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

Todos los modelos ML cumplen con los signos de las variables principales, como muestra la Tabla 48, solo en el modelo ML-01 las variables principales cumplen la condición de ser significativas estadísticamente al 95% de confianza.

Tabla 48. Ranking de Modelos ML para el destino Cali

Ranking	Modelo	Signos	Significancia Test $T \geq 1.96 $	ρ^2	$L\theta$
1	ML-01	SI	SI	0,276	-361,138
2	ML-04	SI	NO	0,345	-326,843
3	ML-02	SI	NO	0,353	-322,951
4	ML-03	SI	NO	0,347	-325,715

FUENTE: Elaboración Propia

Analizando los modelos contenidos en la Tabla 49, se puede observar que los MNL-04 y ML-01 tienen signos correctos. El mejor modelo es el MNL-04 ya que arroja mejores resultados de los test rho-cuadrado (ρ^2) y el test de verosimilitud $L(\theta)$.

Tabla 49. Comparación mejores modelos MNL y ML para el destino Cali

VARIABLE	PARAMETRO	MNL-04		ML-01	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T
	β_1	0,994	2,04	-0,938	-2,44
	β_2	Fijo		Fijo	
CT	θ_{ct}	-0,000012	-6,85	-0,0000117	-5,85
CD	θ_{cd}	-0,0000186	-3,98	-0,0000347	-2,37
TV	θ_{tv}	-0,0205	-2,03	-0,0218	-2,01
MOTAG	θ_{motag}	0,888	4,08		
NAVAG	θ_{navag}	1,26	5,13		
TR	θ_{tr}	0,437	2,73		
ESAG	θ_{esag}	0,709	3,25		
Sigma				-0,000045	-2,12
Razón de Verosimilitud	$L\theta$	-327,420		-361,138	
Rho cuadrado	ρ^2	0,344		0,276	

Fuente: Elaboración Propia

La formulación para el modelo MNL-04, que según lo anterior es el mejor para el destino Cali se presenta entre las ecuaciones 42 a 45:

$$U_{JMC} = \beta_{JMC} + \theta_{CT} CT_{JMC} + \theta_{CD} CD_{JMC} + \theta_{TV} TV_{JMC} + \theta_{ESAG} ESAG \quad (42)$$

$$U_{EOH} = \beta_{EOH} + \theta_{CT} CT_{EOH} + \theta_{CD} CD_{EOH} + \theta_{TV} TV_{EOH} + \theta_{TR} TR + \theta_{MOTAG} MOTAG + \theta_{NAVAG} NAVAG \quad (43)$$

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

$$U_{JMC} = 0,994 - 0,0000120CT_{JMC} - 0,0000186CD_{JMC} - 0,0205TV_{JMC} + 0,705ESAG \quad (44)$$

$$U_{EOH} = -0,0000120CT_{EOH} - 0,0000186CD_{EOH} - 0,0205TV_{EOH} + 0,437TR + 0,888MOTAG + 1,26NAVAG \quad (45)$$

En la evaluación de la variable **ESAG** (Estrato), viajar por el JMC representa mayor utilidad para las personas de estrato bajo, ya que en esta terminal se puede encontrar varias aerolíneas que viajan a Cali, lo que indica una posible guerra de precios que se ve reflejado en un beneficio para el usuario, debido a que se podría encontrar tarifas más económicas que en el aeropuerto EOH

Para la variable **NAVAG** (Tipo de aeronave), viajar por el EOH representa mayor utilidad para las personas que prefieren viajar en naves de menos de 100 pasajeros, situación que estaría relacionada en que en este aeropuerto solo aterrizan aeronaves pequeñas.

Según el comportamiento de la variable **TR** (Tiempo de reserva del tiquete) dentro de la función de utilidad, se tiene que si el tiquete se reserva con suficientes días de anticipación, esto representa una mayor utilidad si se hace por el EOH, ya que con esta medida es posible obtener mejores tarifas aéreas

Igual que en el caso del destino Bogotá con la variable **MOTAG** (Motivo del viaje), viajar por el EOH es más costoso en términos de tarifas aéreas, pero si se está haciendo un viaje por trabajo, representa para el usuario mayor utilidad hacerlo por el EOH, debido en gran porcentaje a que cuando se está realizando un viaje por trabajo o negocios es la empresa la que costea el tiquete aéreo

El valor subjetivo del tiempo (VST) para el destino Cali, está representado en la ecuación 46.

$$VST_{Cali} = \frac{-0,0205}{-0,0000186} = \$1102 / \text{min} \quad (46)$$

Al igual que el resultado obtenido para el destino Bogotá, el valor subjetivo del tiempo para el destino Cali presenta un valor alto, esto indica que las personas que utilizan el modo aéreo tienen ingresos altos o en su mayoría los tiquetes son pagados por la empresa, con estos panoramas se facilita acceder a viajar por el modo aéreo.

Se observa que para el destino Cali el valor subjetivo del tiempo es más alto que para el destino Bogotá esto se debe posiblemente a que los usuarios de esta ruta tienen ingresos más altos comparados con los pasajeros del destino Bogotá

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Cantillo y Mendieta (2011) exponen los resultados de la modelación integrada de la elección de itinerario, aerolínea y aeropuerto mediante la técnica de PR, en el estudio los resultados se ajustan a lo esperado, donde se tenía el supuesto de una mayor valoración del tiempo por parte de los individuos con motivo de viaje trabajo/negocios y la menor valoración del tiempo dentro de la muestra para aquellos que viajan por turismo/ocio, tal como indica la Tabla 50.

Tabla 50. Estimaciones de valor subjetivo del tiempo (\$COP/minuto).

MOTIVO	MNL	NL	ML
Trabajo	3,346	1,429	1,956
Turismo/ocio	1,519	1,061	1,415
Otros motivos	2,597	1,253	1,686

Fuente: Cantillo y Mendieta (2011)

Comparando los valores VST obtenidos para los destinos Bogotá y Cali, con los descritos en la Tabla 50 del artículo de Cantillo y Mendieta, los resultados son los esperados; corroborándose valores subjetivos del tiempo altos, debido a que la mayoría de los individuos viajan por motivos de negocios o trabajo y con esto se daría una mayor valoración del tiempo.

Por otro lado, se intentó calcular para el trayecto Medellín-Cali un modelo con los datos obtenidos por aeropuerto, la base de datos para ambas terminales contaba con 360 observaciones cada una, no se obtuvo un modelo favorable, aunque los signos de las variables son los esperados, la variable tiempo de viaje al aeropuerto (TV) no es significativa como se muestra en la Tabla 51, se necesitaría una base de datos más amplia para obtener un modelo satisfactorio por aeropuerto.

Tabla 51. Modelos para cada aeropuerto en el destino Cali

VARIABLE	PARAMETRO	MNL-04 con toda la base de datos		MNL EOH		MNL JMC	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T	Valor	Test-T
	β_1	0,994	2,04	-1,47	-1,81	0,49	1,02
	β_2	Fijo		Fijo		Fijo	
CT	θ_{ct}	-0,000012	-6,85	-0,0000177	-4,56	-0,0000103	-4,91
CD	θ_{cd}	-0,0000186	-3,98	-0,0000289	-3,32	-0,0000145	-2,52
TV	θ_{tv}	-0,0205	-2,03	-0,0265	-1,30	-0,0149	-1,22
MOTAG	θ_{motag}	0,888	4,08	0,893	2,55	0,749	2,99
NAVAG	θ_{navag}	1,26	5,13			1,31	4,70
TR	θ_{tr}	0,437	2,73				
ESAG	θ_{esag}	0,709	3,25			0,718	2,61
Razón de Verosimilitud	L0	-327,420		-111,047		-201,065	
Rho cuadrado	ρ^2	0,344		0,555		0,194	

Fuente: Elaboración Propia

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

8.5 MODELACIÓN MIXTA

Se pretende introducir la variable frecuencia por medio de la modelación mixta, tomando como información base sólo la cantidad de vuelos directos que parten de cada aeropuerto y en los horarios de la mañana y tarde en los cuales operan ambas terminales, no se introdujo frecuencias en las horas de la noche ya que en este horario el EOH no opera, de la información anterior se obtienen las Tablas 52 y 53

Tabla 52. Frecuencias en el trayecto Medellín-Bogotá

JMC			EOH
AVIANCA	AIRES	COPA	SATENA
06:00	06:00	06:10	07:35
06:30	07:25	16:50	11:10
06:45	10:30		14:55
07:00	14:55		17:30
07:20	17:40		
08:00			
08:15			
08:35			
10:30			
11:00			
11:30			
12:30			
13:30			
14:30			
15:30			
16:30			
17:35			
24 Frecuencias			4 Frecuencias

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 53. Frecuencias en el trayecto Medellín-Cali

JMC	EOH
AVIANCA	SATENA
06:00	07:20
13:05	17:30
14:11	
3 Frecuencias	2 Frecuencias

Fuente: Elaboración Propia

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Para el caso de las PR, fue difícil encontrar un grupo de variables en la función de Utilidad que generara un modelo significativo. La razón es que se cuenta con pocos datos, tan sólo 120 observaciones para el destino Bogotá y 80 para Cali.

En la Tabla 54 se resumen los resultados encontrados en la estimación del Modelo MNL con datos PR para los destinos Bogotá y Cali.

Tabla 54. Modelos MNL con datos de Preferencias Reveladas

VARIABLE	PARAMETRO	PR-BOGOTA		PR-CALI	
		Valor	Test-T	Valor	Test-T
	β_1	-0,000645	0	-0,236	0
	β_2	Fijo	-	Fijo	-
FR	θ_{fr}	-0,0129	0	-0,236	0
SEX	θ_{sex}	0,120	0,30	-0,183	-0,40
ED	θ_{ed}	0,468	0,96	-0,123	-0,26
MTAG	θ_{mtag}	0,439	1,55	0,362	1,02
Razón de Verosimilitud	$L\theta$	-74,751		-54,793	
Rho cuadrado	ρ^2	0,101		0,012	

FUENTE: Elaboración Propia

Se observa que ninguna de las variables es estadísticamente significativa al 95% de confianza ($t < |1,95|$); y en ambos modelos el signo de la variable frecuencia (FR) no corresponde a lo esperado, dado que el coeficiente de la frecuencia es negativo, lo cual sugeriría que a mayor número de frecuencias, menor utilidad esperada para el aeropuerto, situación que no es cierta.

En caso de querer calcularse un factor de escala μ para obtener un modelo mixto que sea significativo, se requeriría al menos dos variables significativas tanto en los modelos calibrados con PR como en aquellos que se alimentan de PD; pero al encontrar que ninguna lo es para el caso PR esto no será posible.

8.6 ANÁLISIS PREDICTIVO

8.6.1 Cuotas de mercado de los modos

Con el modelo estimado y seleccionado como el mejor, se pueden calcular las cuotas de mercado de las dos terminales aeroportuarias consideradas, es decir, la probabilidad de que cada aeropuerto analizado sea elegido para realizar los viajes.

Para alimentar el modelo, se han tomado datos promedio anuales de los viajes realizados en los modos establecidos. Los costos y tiempos se tomaron de manera general sobre los valores presentados en la encuesta; además se tuvieron en cuenta los análisis estadísticos estimados en el numeral 7.4.4, los cuales fueron base para analizar el comportamiento de los encuestados y con esto asignarle el valor a las variables contenidas en la función de utilidad, tomando como referencia la Tabla 55

Tabla 55. Valores asignados a las variables contenidas en la función de utilidad

VARIABLE	MAYOR PORCENTAJE	MENOR PORCENTAJE	Valor de la variable asignada al mayor porcentaje
Sexo (SEX)	53% (mujer)	47% (hombre)	1
Edad (ED)	72% (menores de 50 años)	18% (mayores de 50 años)	0
Tipo de aeronaves (NAVAG)	59% (aviones menores a 100 pasajeros)	41% (aviones mayores a 100 pasajeros)	1
Medio de transporte para llegar al aeropuerto (MTAG)	62% (público)	38% (particular)	0
Tiempo de reserva (TR)	44% (menos de 5 días)	34,5% (entre 5 y 10 días) y 21,5% (más de 10 días)	1
Motivo del viaje (MOTAG)	59% (trabajo o negocios)	41% (otro motivo)	1
Estrato (ESAG)	63% (Altos)	37% (bajos)	0

FUENTE: Elaboración Propia

A estos datos se les aplica el modelo estimado, para finalmente obtener las cuotas de mercado definitivas.

8.6.1.1 Destino Bogotá

En la tabla 56 se indican los resultados de las cuotas de mercado para los modos estudiados en el destino Bogotá y se tiene, para los valores de las variables presentados, que la probabilidad de elección para el JMC es del 40% y para el EOH del 60%.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Tabla 56. Cuotas del mercado de los modos para el destino Bogotá

MODO	VARIABLE	VALOR	β	UTILIDAD	PROBABILIDAD	PAS/AÑO
JMC	Costo del Tiquete (CT)	150.000	-0,369	-3,27	40%	374.878
	Costo Desplazamiento (CD)	50.000				
	Tiempo Viaje al aeropuerto. Min (TV)	60				
	Sexo (SEX)	1				
	Edad (ED)	0				
	Tipo de naves (NAVAG)	1				
EOH	Costo del Tiquete (CT)	220.000	0,000	-2,88	60%	555.350
	Costo Desplazamiento (CD)	10.000				
	Tiempo Viaje al aeropuerto. Min (TV)	20				
	Medio de transporte para llegar al aeropuerto (MTAG)	0				
	Tiempo de reserva (TR)	1				
	Motivo viaje (MOTAG)	1				

Fuente: Elaboración Propia

Los valores complementarios de las variables descritos en la tabla 57, se obtienen del modelo escogido para este destino.

Tabla 57. Datos complementarios para el cálculo de las cuotas de mercado en el trayecto Medellín-Bogotá

Variable	Valor del Parámetro	Test-T
Costo del Tiquete (CT)	-0,0000141	-8,03
Costo Desplazamiento (CD)	-0,0000157	-4,68
Tiempo Viaje al aeropuerto. Min (TV)	-0,0167	-2,97
Sexo (SEX)	0,514	3,31
Edad (ED)	0,871	4,62
Tipo de naves (NAVAG)	0,485	2,37
Medio de transporte para llegar al aeropuerto (MTAG)	1,05	6,50
Tiempo de reserva (TR)	0,256	2,70
Motivo viaje (MOTAG)	0,458	2,72
Pasajeros x año	930.228	

Fuente: Elaboración Propia

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

8.6.1.2 Destino Cali

La Tabla 56 muestra los resultados de las cuotas de mercado para los modos estudiados en el destino Cali y se observa, para los valores de las variables presentados, que la probabilidad de elección para el JMC es del 7% y para el EOH del 93%.

Tabla 58. Cuotas del mercado de los modos para el destino Cali

MODO	VARIABLE	VALOR	β	UTILIDAD	PROBABILIDAD	PAS/AÑO
JMC	Costo del Tiquete (CT)	160.000	0,994	-3,65	7%	7.657
	Costo Desplazamiento (CD)	50.000				
	Tiempo Viaje al aeropuerto. Min (TV)	60				
	Estrato (ES)	0				
EOH	Costo del Tiquete (CT)	230.000	0,000	-1,04	93%	104.135
	Costo Desplazamiento (CD)	10.000				
	Tiempo Viaje al aeropuerto. Min (TV)	20				
	Tiempo de reserva (TR)	1				
	Motivo viaje (MOTAG)	1				
	Tipo de naves (NAVAG)	1				

Fuente: Elaboración Propia

Los valores asignados a las variables los cuales se muestran en la Tabla 59 se extrajeron del modelo escogido para el trayecto Medellín-Cali.

Tabla 59. Datos complementarios para el cálculo de las cuotas de mercado en el trayecto Medellín-Cali.

Variable	Valor del Parámetro	Test-T
Costo del Tiquete (CT)	-0,0000127	-6,85
Costo Desplazamiento (CD)	-0,000025	-3,98
Tiempo Viaje al aeropuerto. Min (TV)	-0,0227	-2,03
Estrato (ES)	0,705	3,25
Tiempo de reserva (TR)	0,437	2,73
Motivo viaje (MOTAG)	0,888	4,08
Tipo de naves (NAVAG)	1,26	5,13
Pasajeros x año	111.792	

Fuente: Elaboración Propia

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Las cuotas de mercado para las terminales aeroportuarias estudiadas en el trayecto Medellín - Cali, presentan una variación considerable entre una y otra, siendo así la probabilidad de elección para el JMC es del 7% y para el EOH del 93% tal como se indica en la Tabla 58, esta situación posiblemente se deba a que indirectamente los usuarios conocen que las frecuencias ofrecidas por ambos aeropuertos son casi iguales, razón por la cual tiendan a preferir el EOH.

8.6.2 Elasticidades del modelo

La elasticidad es el cambio porcentual en elegir un aeropuerto de los dos disponibles, a consecuencia de variaciones en el valor de los atributos del aeropuerto evaluado (Elasticidad Directa) o de variaciones del valor de los atributos del otro aeropuerto (Elasticidad Cruzada)

8.6.2.1 Destino Bogotá

Tabla 60. Elasticidades directas y cruzadas del modelo para el destino Bogotá.

DIRECTAS				
MODO		ATRIBUTO		
		Costo Tiquete	Costo Desplazamiento	Tiempo Viaje
		-0,0000141	-0,0000157	-0,0167
Descripción	Probabilidad	\$1.500	\$500	6 min
JMC	40%	-1%	-0%	-6%
EOH	60%	-1%	-0%	-4%

CRUZADAS				
MODO		ATRIBUTO		
		Costo Tiquete	Costo Desplazamiento	Tiempo Viaje
		-0,0000141	-0,0000157	-0,0167
Descripción	Probabilidad	\$1.500	\$500	6 min
JMC	40%	1%	0%	4%
EOH	60%	1%	0%	6%

FUENTE: Elaboración Propia

De esta manera se tiene que la probabilidad de elegir el JMC, puede reducir en un 1% al considerar un cambio en la tarifa en 1% ósea \$1.500. Respecto al costo de desplazamiento al tener una variación de \$500, no refleja variación y para el tiempo de viaje al aeropuerto, se tiene que una modificación de 6 minutos en este tiempo, puede producir disminuciones del orden del 6% en la probabilidad de elegir el aeropuerto JMC según lo indicado en la Tabla 60.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

8.6.2.2 Destino Cali

Según los resultados presentados en la Tabla 61 se puede analizar que la probabilidad de elegir el EOH, no tiene variación al considerar un cambio en la tarifa en 1% ósea \$1.600. Respecto al tiempo de viaje, se tiene que con una modificación de 6 minutos para llegar al aeropuerto EOH, la probabilidad de elegir esta terminal varía en un 1%.

Tabla 61. Elasticidades directas y cruzadas del modelo para el destino Cali.

MODO		DIRECTAS		
		ATRIBUTO		
		Costo Tiquete	Costo Desplazamiento	Tiempo Viaje
		-0,0000127	-0,000025	-0,0227
Descripción	Probabilidad	\$20.000	\$10.000	10
JMC	7%	-2%	-1%	-13%
EOH	93%	-0%	-0%	-1%

MODO		CRUZADAS		
		ATRIBUTO		
		Costo Tiquete	Costo Desplazamiento	Tiempo Viaje
		-0,0000127	-0,000025	-0,0227
Descripción	Probabilidad	\$20.000	\$10.000	10
JMC	7%	0%	0%	1%
EOH	93%	2%	1%	13%

Fuente: Elaboración Propia

10. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado un acercamiento a los modelos de elección discreta para el tema de transporte aéreo de pasajeros en los trayectos Medellín-Bogotá y Medellín-Cali, esta tesis constituye un aporte a este campo de investigación y abre la puerta a próximas aplicaciones, no sólo en el área de transporte aéreo sino en otros campos de interés. Los pasos a seguir son varios. Uno de ellos ampliar la investigación a otras posibles rutas comunes desde cada aeropuerto. Otro es trabajar más en el tema de preferencias reveladas para obtener mejores modelos.

Por medio de la aplicación de una encuesta a 200 individuos, en la que se le hacía una serie de preguntas al encuestado y se obtuvo información socioeconómica del mismo, la cual es útil para tratar de explicar por qué su comportamiento al momento de decidir por cual terminal aeroportuaria iniciar su viaje. Esta información se complementó con una encuesta de preferencias declaradas, en la que los individuos debían seleccionar la alternativa que le fuera más atractiva dentro de un grupo de 2 posibles.

A partir de la información suministrada, se obtuvieron grandes conclusiones, la principal de ellas que al momento de decidir cuál alternativa seleccionar, los individuos evalúan el costo del tiquete, el costo del desplazamiento al aeropuerto y el tiempo de desplazamiento para llegar al aeropuerto. A su vez, de la información base para poder realizar una modelación mixta, se puede concluir que ésta no tenía mucha variación, dando como resultado modelos que no tienen buen comportamiento.

A partir de la información recolectada, se formularon una serie de modelos tipo logit multinomial y logit mixto, al evaluarlos todos y compararlos, se pudo observar que el mejor modelo para ambos destinos corresponde a un logit multinomial, en estos modelos se evidencian los factores principales que impactan al individuo al momento de tomar la decisión de por cuál aeropuerto viajar.

En el modelo encontrado para el trayecto Medellín – Bogotá, las variables que influyen en la elección del aeropuerto José María Córdova son el costo del tiquete, el costo de llegar a cada terminal, el tiempo de viaje al aeropuerto, el sexo, la edad y el tipo de aeronaves en los que se prefiere viajar; realizar el vuelo partiendo del JMC representa para las mujeres un aumento en el valor de la utilidad, estas condiciones de confort también son compartidas por los usuarios mayores de 50 años para los cuales la utilidad aumenta si realizan el viaje desde este aeropuerto.

El medio de transporte para llegar al aeropuerto, el tiempo de reserva y el motivo del viaje, son variables que intervienen en la elección del aeropuerto Enrique Olaya Herrera en el

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

destino a Bogotá, es así que la variable MTAG (medio de transporte empleado para llegar al aeropuerto) representa mayor utilidad para aquellas personas que viajan en vehículo particular para llegar al EOH, dicha situación se debe a que esta terminal aeroportuaria se encuentra dentro de la ciudad, entonces viajar allí se realiza fácilmente en auto particular, mientras que para llegar al JMC en auto particular representa un costo alto; al reservar con suficientes días de anticipación el tiquete hacia este destino, representaría mayor utilidad para el EOH ya que con esta medida es posible obtener mejores tarifas aéreas; si se está haciendo un viaje por trabajo negocios, proporcionaría al usuario mayor utilidad hacerlo por el EOH, debido en gran proporción a que cuando se está realizando un viaje por motivos laborales es la empresa la que costea el tiquete aéreo, es así que al pasajero no le importaría el costo del tiquete ya que es la empresa quien lo paga.

Para el modelo encontrado en el trayecto Medellín-Cali las variables más influyentes en el modelo encontrado para el JMC son el costo del tiquete, el costo de llegar a cada terminal, el tiempo de viaje al aeropuerto y el estrato del individuo, por lo cual viajar por este aeropuerto representa mayor utilidad para las personas de estrato bajo, ya que en esta terminal se puede encontrar varias aerolíneas que viajan a Cali, lo que indica una posible guerra de precios que se ve reflejado en un beneficio para el usuario, mientras que en el EOH sólo existe una aerolínea que cubre este trayecto

En el modelo obtenido para el aeropuerto EOH en el destino Cali, las variables influyentes son el tiempo de reserva, el motivo del viaje y el tipo de aeronaves en los que se prefiere viajar; cuando el tiquete se reserva con suficientes días de anticipación, esto representa una mayor utilidad si se hace por este aeropuerto, ya que con esta medida es posible obtener mejores tarifas aéreas; cuando el motivo del viaje es trabajo o negocios, esta situación se ve reflejada en un aumento de la utilidad si se realiza desde esta terminal, debido en gran porcentaje a que cuando se está realizando un viaje por este motivo es la empresa la que costea el tiquete aéreo; también se presenta un incremento en la utilidad para las personas que prefieren viajar en naves de menos de 100 pasajeros, situación que estaría relacionada en que en este aeropuerto sólo aterrizan aeronaves pequeñas.

Como resultados de los modelos se realizaron los cálculos del Valor Subjetivo del Tiempo, para ambos destinos, encontrándose valores superiores a \$1.000/min, lo que indica que los individuos que utilizan el modo aéreo en su mayoría tienen ingresos altos y pueden acceder a este medio de transporte, que es costoso comparado con otros medios de transporte, adicional a este análisis cuando la empresa costea el tiquete, contribuye a que el valor subjetivo del tiempo sea alto, ya que al usuario no le importa el valor pagado por el tiquete, porque es la empresa quien lo realiza.

Los resultados obtenidos en esta investigación, podrán ser empleados por la empresa encargada de la operación de ambos aeropuertos (AIRPLAN) como base para estudios más detallados, teniendo en cuenta más rutas y realizando la encuesta con mayor número

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

de individuos; además se sugiere integrar en nuevos modelos variables psicológicas las cuales solo dependen del individuo y no del modo.

Como aporte para AIRPLAN se deriva el cálculo de las elasticidades, a partir de esto, se llega a la conclusión que el atributo de mayor impacto en la elección del aeropuerto para el destino Bogotá es el costo del tiquete, aunque un cambio en cualquiera de los otros atributos repercute de manera significativa en la decisión; una posible estrategia para favorecer cada una de las terminales es permitir que las aerolíneas generen estrategias de mercadeo como son: el tema de las tarifas empaquetadas (varios tiquetes con tarifas bajas), las promociones que ofrecen obsequios y beneficios en otros sectores distintos del transporte aéreo y las millas ofrecidas por algunas aerolíneas las cuales se pueden redimir en tiquetes aéreos.

El consumo de transporte aéreo en general depende de los costos y tiempos, así como de las características de los medios de transporte sustitutos, como el terrestre, en el cual el mal estado de las carreteras, la inseguridad vial, la incomodidad y los tiempos de viaje, hacen que el consumo del modo aéreo aumente. Por otro lado el consumo de transporte aéreo en una aerolínea en particular depende de sus características específicas por ejemplo puntualidad, calidad del servicio, planes de viajero frecuente, frecuencia y horario de vuelos.

BIBLIOGRAFÍA

Ben-Akiva, M. & S. R. Lerman (1985). Discrete choice analysis: theory and application to travel demand. Cambridge. Mass.: The MIT Press.

Ben-Akiva M., and T. Morikawa. (1990a). "Estimation of Switching Models from Revealed Preferences and Stated Intentions," Transportation Research A, 24A(6), 485-495.

Boyd, J. H. & R. E. Mellman (1980). "The effect of fuel economic standards on the U.S. automotive market: a hedonic demand analysis". Transportation Research, 14A: 367-378.

Bradley, M.A. y Daly, A.J. (1997) Estimation of Logit models using mixed stated preference and revealed preference information. En P. Stopher y M. Lee-Gosselin (Eds.), Understanding

Brownstone, D. and K. Train (1999), 'Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns', Journal of Econometrics 89, 109– 129.

Cantillo, V y Mendieta O (2011). Modelación integrada de la elección de itinerario, aerolínea y aeropuerto: El caso de Medellín. Congreso Colombiano e ingeniería de tránsito y transporte

Cardell, N. & F. Dunbar (1980). "Measuring societal impacts of automobile downsizing". Transportation Research, 14A: 423-434.

Cardona, Natalia. (2008) Modelación mixta del reparto modal de viajes. Aplicado al metrocable Santo Domingo Medellín. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Cordoba, Jorge (2010). Modelo de elección discreta integrando variables latentes y racionalidad limitada. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Doganis, R. (1991): Flying off course, Routledge, London, segunda edición.

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

Fleming, D. K. y Ghobrial, A. (1994): «An Analysis of the Determinants of Regional Air Travel Demand», Transportation Planning and Technology, número 1, páginas 37-44.

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Fowkes, A. S. & M. Wardman (1988). "The design of stated preference travel choice experiments with special reference to interpersonal taste variation". *Journal of Transport Economics and Policy*, 22: 27-44

Fowkes, A. S., C. A. Nash y A. E. Whiteing (1985). "Understanding trends in inter-city rail traffic in Great Britain". *Transportation Planning and Technology*, 10: 65-80.

Fridström, L. y Thune-larsen, H. (1989): «An Econometric Air Travel Demand Model for the Entire Conventional Network: The Case of Norway». *Transportation Research B*, número 3, páginas 231-233.

Ghobrial, A. (1993): «A Model to Estimate the Demand between US and Foreign Gateways», *International Journal of Transport Economics*, número 3, páginas 217-283

Hahn, G. J. & S. S. Shapiro (1966). "A catalogue and computer program for design and analysis of orthogonal symmetric and asymmetric fractional experiments". Report N° 66-C-165, General Electric Research and Development Centre, Nueva York.

Hanlon, P. (1996): *Global Airlines. Competition in a Transnational Industry*, Butterworth Heinemann, Oxford.

Hess, Stephane. *Journal of air transport management* 16, 2010. Pp. 191-195

Iglesias, Paula Y Ortúzar, Juan de Dios. (2010). Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile

Kocur, G., T. Adler, W. Hyman y B. Aunet (1982). "Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment". Report N° UMTA-NH-11-1-82, Urban Mass Transportation Administration, US Department of Transportation, Washington, D.C

Louviere, J. J., R. Meyer, F. Stetzer y A.L.L. Beavers (1973). "Theory, methodology and findings in mode choice behaviour". Working Paper N° 11, Institute of Urban and Regional Research, University of Iowa

Louviere, J. J. (1988). "Conjoint analysis modelling of stated preferences". *Journal of Transport Economics and Policy*, 22: 93-119.

McFadden, D. (1974). "The measurement of urban travel demand". *Journal of Public Economics*, 3: 303-328.

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

TESIS DE MAESTRÍA

Maestría en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos

Claudia Helena Muñoz Hoyos

Ortúzar, J. de D. (1982). "Fundamentals of discrete multimodal choice modelling". *Transport Reviews*, 2: 47-78.

Ortúzar, J de D & R. A. Garrido (1994^a). "On the semantic scale problema in stated preference rating experiments". *Transportation*, 21:185-201

Ortúzar, Juan de Dios. Modelos econométricos de elección discreta. Ediciones Universidad Católica de Chile. 2000.

Ortúzar, Juan de Dios; Espino, Raquel y Román García, Concepción. Localización: Estudios de economía aplicada, ISSN 1697-5731, Vol. 22, N° 3, 2004 (Ejemplar dedicado a: Economía espacial). pp. 725-726

Permain, D., J. Swanson, E. Kroes y M. Bradley (1991). Stated preference techniques: a guide to practice. Londres: Steer Davies Gleave y Hague Consulting Group.

Pickrell, D. H. (1984): «The Demand for Short-Haul Air Service», en Mayer, J. R. y Oster Jr., C. V. (eds.): *Desregulation and the New Airline Entrepreneurs*, MIT Press, Cambridge Mass.

Rendarajv, V. R. y Thamiz-Arasan, V. (1992): «Modelling for Air Travel Demand», *Journal of Transportation Engineering*, número 3, páginas 371-380.

Russon, M. G. (1990): «Iterative Non-Linear Estimation of Air Passengers Flow Sensitivity to Political Boundaries and a Complex Function of Distance», *Logistics and Transportation Review*, número 4, páginas 323-337.

Wonnacott, T. H. & R. J. Wonnacott (1977). *Introductory statistics for business and economics*. Nueva York: John Wiley and Sons.

(<http://transp-or.epfl.ch/page63023.html>)

ANEXOS

ANEXO A. Diseño de la encuesta de preferencias declaradas

ANEXO B. Formato de la encuesta

ANEXO C. Base de datos para los destinos Bogotá y Cali

ANEXO D. Modelos para el destino Bogotá

ANEXO E. Modelos para el destino Cali.

ANEXO A

DISEÑO DE LA ENCUESTA DE PREFERENCIAS DECLARADAS

A. VARIABLES Y NIVELES

Variables		Niveles
CT	Costo del tiquete	3
CD	Costo de desplazamiento al aeropuerto	3
TV	Tiempo de viaje para llegar al aeropuerto	3

B. CONFIGURACIÓN DE LOS CASOS

Tablas de Kocur

Master Plan 3			
Fila	1	2	4
1	0	0	1
2	0	1	2
3	0	2	1
4	1	0	1
5	1	1	0
6	1	2	2
7	2	0	2
8	2	1	1
9	2	2	0

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

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

ANEXO B

Encuesta para el destino Bogotá

AEROPUERTOS CERCANOS A MEDELLÍN					
1. IDENTIFICACIÓN DE LA ENCUESTA					
Lugar <input style="width: 150px;" type="text"/>	Fecha <input style="width: 100px;" type="text"/>				
2. IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO					
SEXO					
<input type="checkbox"/> Femenino	<input type="checkbox"/> Masculino				
RANGO DE EDAD					
<input type="checkbox"/> MENOS DE 30	<input type="checkbox"/> ENTRE 31 Y 50	<input type="checkbox"/> MAS DE 51			
OCUPACIÓN					
<input type="checkbox"/> ESTUDIANTE	<input type="checkbox"/> COMERCIANTE	<input type="checkbox"/> ADMINISTRATIVO	<input type="checkbox"/> GERENTE		
<input type="checkbox"/> PROFESIONAL	<input type="checkbox"/> TECNICO	<input type="checkbox"/> EMPLEADO PÚBLICO	<input type="checkbox"/> OTRO Cual? _____		
3. INFORMACIÓN DEL VIAJE					
¿Cuantos viajes en avión realiza al año? (por trayecto) <input style="width: 80px;" type="text"/>					
¿Cuantos de estos viajes los realiza por?					
<input type="checkbox"/> Trabajo	<input type="checkbox"/> Negocios	<input type="checkbox"/> Vacaciones	<input type="checkbox"/> Estudio	<input type="checkbox"/> Otros	Cual? _____
¿Tipos de aviones en los que prefiere viajar?					
<input type="checkbox"/> MENOS de 50 pas.	<input type="checkbox"/> ENTRE 51 y 100 pas.	<input type="checkbox"/> MAS DE 101 pas.	<input type="checkbox"/> INDIFERENTE		
¿El viaje que va a realizar es pagado por?					
<input type="checkbox"/> Recursos Propios	<input type="checkbox"/> Empresa	<input type="checkbox"/> Otra Persona			
¿La decisión de viajar por este aeropuerto fue tomada por?					
<input type="checkbox"/> Usted	<input type="checkbox"/> Empresa	<input type="checkbox"/> Otra Persona			
¿El viaje que va a realizar a que hora despega?					
<input type="checkbox"/> Mañana	<input type="checkbox"/> Tarde	<input type="checkbox"/> Noche			
¿En que medio de transporte llegó al aeropuerto?					
<input type="checkbox"/> Auto Particular	<input type="checkbox"/> Taxi	<input type="checkbox"/> Colectivo	<input type="checkbox"/> Bus		

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
 Claudia Helena Muñoz Hoyos

¿Con cuántos días de anticipación reservó el viaje? días

¿Con cuántas personas va a viajar?

¿En el viaje que va a realizar lleva maletas, a parte del equipaje de mano? SI _____ NO _____ Cuantas? _____

4. PREFERENCIAS DECLARADAS

Considere que usted va a realizar un viaje de Medellín hacia Bogotá y lo va a realizar en avión. A continuación le mostraremos varias situaciones en las que usted deberá escoger una entre 2 alternativas para las variables costo del tiquete aereo, costo para ir al aeropuerto y tiempo para llegar al aeropuerto. Si usted va a costear el viaje cual de los dos aeropuertos escogería para cada una de las alternativas?

ALTERNATIVA	JMC	EOH
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

5. INGRESO PERSONAL

¿Cuál es su ingreso mensual? (*promedio mensual*)

MENOS DE \$1.000.000
 ENTRE \$1.000.000 Y \$ 2.000.000
 ENTRE \$2.000.000 Y \$ 3.000.000
 MAS DE \$3.000.000

¿Cuál es su estrato socioeconómico?

1 3 5
 2 4 6 No sabe

¿ En cuál municipio reside?

¿ Barrio?

6. OBSERVACIONES

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
 Claudia Helena Muñoz Hoyos

MEDELLÍN-BOGOTÁ

		JMC	EOH
1	TARIFA AEREA	\$120.000	\$220.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$60.000	\$10.000
	TIEMPO ACCESO	50 minutos	30 minutos
2	TARIFA	\$180.000	\$160.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$60.000	\$15.000
	TIEMPO ACCESO	40 minutos	30 minutos
3	TARIFA	\$150.000	\$160.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$25.000	\$20.000
	TIEMPO ACCESO	40 minutos	20 minutos

TESIS DE MAESTRÍA

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
 Claudia Helena Muñoz Hoyos

		JMC	EOH
4	TARIFA	\$120.000	\$220.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$15.000	\$20.000
	TIEMPO ACCESO	40 minutos	20 minutos
5	TARIFA	\$180.000	\$220.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$15.000	\$20.000
	TIEMPO ACCESO	1 hora	15 minutos
6	TARIFA	\$120.000	\$190.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$25.000	\$20.000
	TIEMPO ACCESO	1 hora	30 minutos

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
 Claudia Helena Muñoz Hoyos

		JMC	EOH
7	TARIFA	\$150.000	\$190.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$15.000	\$15.000
	TIEMPO ACCESO	50 minutos	15 minutos

		JMC	EOH
8	TARIFA	\$180.000	\$160.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$25.000	\$10.000
	TIEMPO ACCESO	50 minutos	15 minutos

		JMC	EOH
9	TARIFA	\$150.000	\$190.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$60.000	\$10.000
	TIEMPO ACCESO	1 hora	20 minutos

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
Claudia Helena Muñoz Hoyos

Encuesta para el destino Cali

AEROPUERTOS CERCANOS A MEDELLÍN					
1. IDENTIFICACIÓN DE LA ENCUESTA					
Lugar <input type="text"/>	Fecha <input type="text"/>				
2. IDENTIFICACIÓN DEL USUARIO					
SEXO					
<input type="checkbox"/> Femenino	<input type="checkbox"/> Masculino				
RANGO DE EDAD					
<input type="checkbox"/> MENOS DE 30	<input type="checkbox"/> ENTRE 31 Y 50	<input type="checkbox"/> MAS DE 51			
OCUPACIÓN					
<input type="checkbox"/> ESTUDIANTE	<input type="checkbox"/> COMERCIANTE	<input type="checkbox"/> ADMINISTRATIVO	<input type="checkbox"/> GERENTE		
<input type="checkbox"/> PROFESIONAL	<input type="checkbox"/> TECNICO	<input type="checkbox"/> EMPLEADO PÚBLICO	<input type="checkbox"/> OTRO Cual? _____		
3. INFORMACIÓN DEL VIAJE					
¿Cuantos viajes en avión realiza al año? (por trayecto) <input type="text"/>					
¿Cuantos de estos viajes los realiza por?					
<input type="checkbox"/> Trabajo	<input type="checkbox"/> Negocios	<input type="checkbox"/> Vacaciones	<input type="checkbox"/> Estudio	<input type="checkbox"/> Otros	Cual? _____
¿Tipos de aviones en los que prefiere viajar?					
<input type="checkbox"/> MENOS de 50 pas.	<input type="checkbox"/> ENTRE 51 y 100 pas.	<input type="checkbox"/> MAS DE 101 pas.	<input type="checkbox"/> INDIFERENTE		
¿El viaje que va a realizar es pagado por?					
<input type="checkbox"/> Recursos Propios	<input type="checkbox"/> Empresa	<input type="checkbox"/> Otra Persona			
¿La decisión de viajar por este aeropuerto fue tomada por?					
<input type="checkbox"/> Usted	<input type="checkbox"/> Empresa	<input type="checkbox"/> Otra Persona			
¿El viaje que va a realizar a que hora despega?					
<input type="checkbox"/> Mañana	<input type="checkbox"/> Tarde	<input type="checkbox"/> Noche			
¿En que medio de transporte llegó al aeropuerto?					
<input type="checkbox"/> Auto Particular	<input type="checkbox"/> Taxi	<input type="checkbox"/> Colectivo	<input type="checkbox"/> Bus		

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
 Claudia Helena Muñoz Hoyos

¿Con cuántos días de anticipación reservó el viaje? días

¿Con cuántas personas va a viajar?

¿En el viaje que va a realizar lleva maletas, a parte del equipaje de mano? SI _____ NO _____

Cuantas? _____

4. PREFERENCIAS DECLARADAS

Considere que usted va a realizar un viaje de Medellín hacia Cali y lo va a realizar en avión. A continuación le mostraremos varias situaciones en las que usted deberá escoger una entre 2 alternativas para las variables costo del tiquete aéreo, costo para ir al aeropuerto y tiempo para llegar al aeropuerto. Si usted va a costear el viaje cual de los dos aeropuertos escogería para cada una de las alternativas?

ALTERNATIVA	JMC	EOH
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

5. INGRESO PERSONAL

¿Cuál es su ingreso mensual? (*promedio mensual*)

MENOS DE \$1.000.000
 ENTRE \$1.000.000 Y \$ 2.000.000
 ENTRE \$2.000.000 Y \$ 3.000.000
 MAS DE \$3.000.000

¿Cuál es su estrato socioeconómico?



1 3 5
 2 4 6 No sabe



¿ En cuál municipio reside?



¿ Barrio?

6. OBSERVACIONES



MEDELLÍN - CALI



		JMC	EOH
			
1	TARIFA AEREA	\$110.000	\$240.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$60.000	\$10.000
	TIEMPO A CCESO	50 minutos	30 minutos



		JMC	EOH
			
2	TARIFA	\$170.000	\$130.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$60.000	\$15.000
	TIEMPO A CCESO	40 minutos	30 minutos

		JMC	EOH
			
3	TARIFA	\$140.000	\$130.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$25.000	\$20.000
	TIEMPO A CCESO	40 minutos	20 minutos



Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
 Claudia Helena Muñoz Hoyos



		JMC	EOH
			
4	TARIFA	\$110.000	\$240.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$15.000	\$20.000
	TIEMPO A CCESO	40 minutos	20 minutos



		JMC	EOH
			
5	TARIFA	\$170.000	\$240.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$15.000	\$20.000
	TIEMPO A CCESO	1 hora	15 minutos

		JMC	EOH
			
6	TARIFA	\$110.000	\$185.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$25.000	\$20.000
	TIEMPO A CCESO	1 hora	30 minutos

Modelación de la elección de la terminal aeroportuaria entre dos aeropuertos cercanos
 Claudia Helena Muñoz Hoyos

		JMC	EOH
			
7	TARIFA	\$140.000	\$185.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$15.000	\$15.000
	TIEMPO A CCESO	50 minutos	15 minutos

		JMC	EOH
			
8	TARIFA	\$170.000	\$130.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$25.000	\$10.000
	TIEMPO A CCESO	50 minutos	15 minutos

		JMC	EOH
			
9	TARIFA	\$140.000	\$185.000
	COSTO DE DESPLAZAMIENTO	\$60.000	\$10.000
	TIEMPO A CCESO	1 hora	20 minutos