



FACULTAD
DE CIENCIAS
ECONÓMICAS



Universidad
Nacional
de Córdoba

REPOSITORIO DIGITAL UNIVERSITARIO (RDU-UNC)

Estimación de la demanda de viajes al trabajo utilizando modelos de elección de modo de transporte y de elección conjunta de modo de transporte y tenencia de vehículo particular en la Ciudad de Córdoba - Argentina

Juan José Pompilio Sartori

Tesis Doctoral. Mención en Economía. Escuela de Graduados. Facultad de Ciencias
Económicas. Universidad Nacional de Córdoba, 2013. Córdoba, Argentina



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Tesis Doctoral

**Estimación de la demanda de viajes al trabajo utilizando modelos
de elección de modo de transporte y de elección conjunta de modo
de transporte y tenencia de vehículo particular en la Ciudad de
Córdoba - Argentina**

Juan José Pompilio SARTORI
- Candidato Doctoral -

Doctorado en Ciencias Económicas – Mención: Economía
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad Nacional de Córdoba

Consejero: Dr. Carlos Walter Robledo

Febrero de 2013

Estimación de la demanda de viajes al trabajo utilizando modelos de elección de modo de transporte y de elección conjunta de modo de transporte y tenencia de vehículo particular en la Ciudad de Córdoba - Argentina

Juan José Pompilio SARTORI - Candidato Doctoral
Doctorado en Ciencias Económicas – Mención: Economía
Facultad de Ciencias Económicas - Universidad Nacional de Córdoba

Resumen

La estimación de la demanda de transporte juega un papel fundamental en el diseño e implementación de políticas económicas en el sector transporte. La estimación de modelos de elección discreta de modo de transporte permite determinar el impacto que generan políticas de transporte específicas a favor del uso de los servicios de transporte público.

Esta tesis desarrolla y verifica empíricamente el marco conceptual teórico de elección de modo de transporte a través de la estimación de modelos de elección discreta a partir de encuestas de preferencias declaradas realizadas en la ciudad de Córdoba, considerando los viajes al trabajo. Dado el notable incremento en el parque de vehículos particulares en Argentina y en Córdoba, que contribuye a aumentar los niveles de congestión en el tránsito urbano, se postula que ante cambios en las variables determinantes de la demanda de los servicios de transporte podrán generarse incentivos para que los ciudadanos aumenten o disminuyan el número de vehículos particulares que poseen y utilizan. Es decir, el cambio de las condiciones de servicio de los sistemas de transporte determina la decisión de tenencia de vehículo particular y su uso. Así, las variables de política de transporte urbano deberían considerarse a la hora de analizar el impacto que tendrán en la decisión de tenencia de vehículos particulares y en la decisión de elección del modo de transporte para realizar viajes por distintos motivos en general y para dirigirse al trabajo, en particular. Existe entonces, una relación simultánea entre la decisión de tenencia de vehículo privado y el uso de los mismos.

Con la encuesta de preferencias declaradas diseñada e implementada se han realizado estimaciones empíricas y pronósticos de la demanda de viajes en la ciudad de Córdoba considerando la elección de modo de transporte para viajar al trabajo y la decisión interdependiente de tenencia (y disponibilidad) de vehículo particular (auto o motocicleta) y de uso de modo de transporte. Las encuestas de preferencias declaradas se diseñaron a

partir de la aplicación de técnicas de diseño de experimentos de elección. Se han estimado económicamente modelos de elección de modo de transporte: logit multinomial, logit multinomial mixto con efectos de panel para respuestas repetidas y logit anidado. La interdependencia en las decisiones de tenencia y uso ha sido comprobada empíricamente, a partir de diferentes especificaciones de modelos de elección conjunta de modo de transporte y tenencia de vehículo particular, entre ellos: el modelo logit anidado con nidos de tenencia ficticios y el modelo logit anidado multidimensional con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia.

A partir de los modelos estimados se han realizado análisis de pronóstico de la probabilidad de uso de los diferentes modos de transporte y de compra de automóvil y motocicleta, se ha obtenido la sensibilidad de las preferencias por uso y tenencia de vehículo particular ante cambios en los niveles de servicio de los distintos modos de transporte y se han calculado las valoraciones subjetivas de los ahorros de tiempo de viaje, tiempo de espera y cuerdas caminadas en origen o destino para los diferentes modelos estimados.

Si bien existen diferencias en los valores calculados con los diferentes modelos especificados y estimados, se evidencia que existe una alta sensibilidad de las preferencias por compra de automóvil particular a cambios en los costos de estacionamiento y en los tiempos de viaje en autobús. Por lo tanto, la implementación de vías exclusivas para el transporte público por autobús (que disminuyan los tiempos de viaje) y el aumento de los costos de estacionamiento se convierten en los principales instrumentos de política que desalienten el uso y la compra de vehículo particular para viajar al trabajo, generando incrementos de la demanda de los servicios de transporte público masivo (autobús y autobús diferencial).

Asimismo, reconociendo que no existe posibilidad de ampliar la red de calles y avenidas en el corto plazo, resulta apropiado y necesario mejorar los niveles de servicio de los modos de transporte público en relación a los modos de transporte privado de manera de generar los incentivos apropiados para aumentar la demanda de uso del transporte público. Por otra parte, aumentos de los tiempos y costos de viaje en los servicios de transporte público masivo, en especial el autobús, podrían impulsar en el corto plazo decisiones de compra de automóvil y motocicleta para viajar al trabajo, agravando las actuales condiciones de congestión del tránsito urbano en horas pico.

Dedicatoria:

A mis padres, José Luis Sartori y María Dolores Circolone, quienes eligieron a la Ciudad de Córdoba como el lugar de residencia del hogar con la expectativa de lograr una educación de excelencia para sus hijos.

Agradecimientos:

En primer lugar quiero agradecer a mi esposa, Ana María Robles y a mis tres hijos, Diego, Magalí y Vanina, por su valiosa compañía y apoyo cotidiano. Gracias a su afecto y apoyo moral permanente, que me permiten lograr los objetivos propuestos.

A mis hermanos, Emiliano y María Luján y a sus familias, por ser parte de mis experiencias cotidianas y estar siempre presentes para ayudarme a concretar los sueños perseguidos.

En especial, a mi consejero de tesis Dr. Carlos Walter Robledo, por su apoyo e incentivo constante en el desarrollo de esta tesis.

Al Dr. Luis Ignacio Rizzi, por brindarme un gran apoyo en la definición del problema de investigación, su aplicación y en la revisión de los resultados.

A la Dra. Hebe Goldenhersch, a la Lic. Mirta Elorriaga de Rautenberg, al Ing. Leonardo Walter Petrone, a la Dra. Margarita Díaz, a la Dra. Hada G. Juárez de Perona y al Dr. Fernando Sonnet, por sus sabios consejos y enseñanzas y por haberme iniciado e incentivado en el camino de la docencia y la investigación aplicada.

Al Dr. José Luis Arrufat, por sus enseñanzas, sus consejos y sus siempre novedosos e interesantes comentarios a mi trabajo.

A mis alumnos, ayudantes y colegas de investigación, por enriquecer mis estudios con sus preguntas, comentarios y reflexiones.

A mis profesores de la Universidad Nacional de Córdoba, la Universidad Carlos III de Madrid, la Universidad de Leeds, la Universidad de Bologna y la École Polytechnique Fédérale de Lausanne, gigantes en cuyos hombros me he apoyado para tratar de avanzar en el conocimiento y en la aplicación de la teoría económica a la resolución de problemas sociales.

En especial, a mis profesores de los cursos de perfeccionamiento realizados en la Universidad de Bologna (Italia) en el año 2009 y en la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suiza) en el año 2011, Michel Bierlaire, Moshe Ben-Akiva, Maurizio Canavari, Elisabetta Cherchi, Roger von Haefen, Stephane Hess, John M. Rose, Ricardo Scarpa, Kenneth Train, cuyas enseñanzas y desarrollos aportaron significativamente a la realización de esta tesis.

Juan José Pompilio Sartori

Febrero de 2013

Índice

1. Introducción	1
2. Formulación del problema de investigación	3
3. Hipótesis de trabajo	7
4. Objetivos de la tesis.....	9
5. Marco de referencia de la investigación	11
5.1. Marco de referencia basado en la teoría económica	11
5.2. Marco de referencia metodológico econométrico para la estimación de demanda con modelos de elección discreta	21
5.2.1. El modelo logit multinomial	22
5.2.2. El modelo logit anidado o jerárquico	26
5.2.3. El modelo logit mixto.....	32
5.2.4. Modelos que combinan datos de preferencias reveladas y declaradas	41
5.2.5. El modelo de valor extremo generalizado de McFadden	46
5.2.6. Cálculo de valoraciones subjetivas	48
5.3. Marco de referencia metodológico sobre estimación de modelos de tenencia de vehículo particular	52
5.4. Marco de referencia metodológico para la estimación conjunta de modelos de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte	61
5.4.1. Modelo logit multinomial multidimensional	63
5.4.2. Modelo logit anidado multidimensional	70
5.4.3. Modelo de elección de modo de transporte y preferencias por tenencia de vehículo particular con datos de preferencias declaradas	76
5.5. Marco de referencia metodológico del relevamiento de información para la estimación de demanda a partir de encuestas de preferencias declaradas	81
5.5.1. Diseño de experimentos de elección	83
5.5.2. Diseño muestral.....	95
5.5.3. Tamaño de la muestra.....	98
5.5.4. Procedimiento propuesto para el relevamiento	104
6. Encuesta piloto de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo en la Ciudad de Córdoba	106
6.1. Diseño del experimento de elección de la encuesta piloto de preferencias declaradas.....	106
6.2. Diseño del cuestionario y relevamiento	110
7. Encuesta definitiva de elección de modo de transporte para viajar al trabajo y preferencias por tenencia de vehículo particular en la Ciudad de Córdoba.	112

7.1. Diseño e implementación de la encuesta de preferencias declaradas.....	113
7.2. Características socioeconómicas de la muestra de trabajadores	129
8. Estimaciones de modelos de elección de modo de transporte.....	131
8.1. Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo	131
8.2. Análisis de escenarios y cálculo de elasticidades con el modelo de elección de modo de transporte	144
9. Modelos estimados de elección conjunta de modo de transporte y tenencia de vehículo particular	150
9.1. Estimación simultánea de elección de modo de transporte para viajar al trabajo y preferencias por tenencia de vehículo particular	153
9.1.1. Modelo logit anidado con nidos de tenencia ficticios.....	153
9.1.2. Modelo logit anidado multidimensional para estimación conjunta de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte.....	161
9.2. Análisis de escenarios y cálculo de elasticidades a partir de los modelos de elección conjunta de tenencia de vehículo particular y modo de transporte.....	167
10. Conclusiones y líneas futuras de investigación	173
Anexo 1: Formulario de la encuesta de movilidad a trabajadores del hogar.....	178
Anexo 2: Ejemplos de sintaxis para la generación con Ngene de un modelo D- eficiente convencional y del modelo D-eficiente promedio	182
Anexo 3: Diseños experimentales D-eficientes promedio de diferentes conjuntos de elección (para diferentes distancias de viaje)	186
Anexo 4: Evaluación del diseño para modelo con parámetros genéricos.....	205
Anexo 5: Sintaxis de programas para las estimaciones realizadas con Biogeme.....	212
Referencias bibliográficas	241

Índice de tablas

Tabla 1: Atributos y niveles del diseño del experimento de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo	108
Tabla 2: Diseños de elección correspondientes a distintas distancias de viaje de los entrevistados.....	109
Tabla 3: Diseños de elección según disponibilidad de alternativas	109
Tabla 4: Niveles de los atributos del experimento de elección	115
Tabla 5: Diseños basados en la disponibilidad de alternativas.....	116
Tabla 6: Valores previos utilizados en el diseño del experimento	117
Tabla 7: Estimadores S_p de tamaño muestral mínimo para la estimación de un modelo logit multinomial con parámetros específicos (considerando los parámetros previos establecidos y un nivel de significación del 5%) - Diseño D-eficiente promedio para viajes de 10 km	121
Tabla 8: Estimadores S_p de tamaño muestral mínimo para la estimación de un modelo logit multinomial con parámetros genéricos (considerando los parámetros previos establecidos y un nivel de significación del 5%) - Diseño D-eficiente promedio para viajes de 10 km	122
Tabla 9: Distribución de los encuestados por tramos de edad	129
Tabla 10: Distribución de encuestados según categoría de ocupación	130
Tabla 11: Distribución de los encuestados según tramo de ingreso.....	130
Tabla 12: Distribución de frecuencias de la variable dependiente de elección de modo de transporte	131
Tabla 13: Modelo logit multinomial básico.....	133
Tabla 14: Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte (incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje).....	135
Tabla 15: Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte (incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje y variables socioeconómicas)	138
Tabla 16: Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte. Modelo mixto de datos de panel para respuestas repetidas.....	140
Tabla 17: Modelo logit anidado de elección de modo de transporte. Modelo mixto de datos de panel para respuestas repetidas.....	142
Tabla 18: Pronósticos de escenarios de política y elasticidades de demanda. Modelo logit multinomial mixto de panel de elección de modo de transporte.....	145
Tabla 19: Pronósticos de escenarios de política y elasticidades de demanda. Modelo logit anidado mixto de panel de elección de modo de transporte	148
Tabla 20: Distribución de frecuencias de la variable dependiente	151

Tabla 21: Modelo logit anidado multidimensional mixto de datos de panel con nidos ficticios (para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo)	157
Tabla 22: Modelo logit anidado multidimensional mixto de datos de panel con nidos ficticios y coeficientes que diferencian preferencias de uso y compra de vehículo particular	160
Tabla 23: Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo)	164
Tabla 24: Pronósticos de escenarios de política y elasticidades de demanda. Modelo logit anidado multidimensional mixto de datos de panel con nidos ficticios ...	169
Tabla 25: Pronósticos de escenarios de política y elasticidades de demanda. Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular	171
Tabla 26: Elasticidades calculadas con los diferentes modelos estimados	175

Índice de figuras e ilustraciones

Figura 1: Diagrama de árbol de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo – Modelo logit multinomial	25
Figura 2: Diagrama de árbol de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo – Modelo logit multinomial jerárquico (distinguiendo entre modos de transporte público y privado)	28
Figura 3: Diagrama de árbol de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo con datos de preferencias reveladas y declaradas (con nodos ficticios para las alternativas de preferencias declaradas)	44
Figura 4: Diagrama de árbol de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo con datos de preferencias reveladas y declaradas considerados como grupos independientes	45
Figura 5: Diagrama de árbol para la estimación conjunta de las preferencias por tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo – Modelo logit multidimensional	69
Figura 6: Diagrama de árbol de elección para la estimación conjunta de las preferencias por tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo – Modelo logit anidado (con alternativas elementales disponibles en cada nido)	74

Figura 7: Diagrama de árbol de elección para la estimación conjunta de tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo – Modelo logit anidado (considerando todas las alternativas elementales en cada nido)	75
Figura 8: Diagrama de árbol para la estimación conjunta de tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo – Modelo logit anidado con nidos ficticios	80
Figura 9: Escenario de elección para un viaje de 5 kms, para un entrevistado con disponibilidad de transporte público y automóvil particular (encuesta piloto)	111
Figura 10.a: Escenario de elección de modo de transporte (Con automóvil y motocicleta en el hogar)	125
Figura 10.b: Escenario de elección de modo de transporte (Sin automóvil en el hogar)	125
Figura 10.c.: Escenario de elección de modo de transporte (Sin motocicleta en el hogar)	126
Figura 10.d: Escenario de elección de modo de transporte (Sin automóvil y sin motocicleta en el hogar)	126
Figura 11: Última pregunta de la encuesta de preferencias declaradas	127
Figura 12: Diagrama de árbol de elección según evidencia empírica de elección de modo de transporte – Modelo logit anidado.....	141
 Esquema 1: Metodología de cálculo del diseño eficiente promedio	 118

1. Introducción

La estimación de la demanda de transporte juega un papel fundamental en el diseño e implementación de políticas económicas en el sector transporte. En el contexto del diseño de políticas de transporte urbano, la estimación de la demanda de viajes permite pronosticar la cantidad de viajes por distintos modos de transporte, motivos de viaje, orígenes y destinos específicos y asignación de viajes a la red de tránsito existente. En estas dimensiones de pronóstico se basa el modelo tradicional denominado de cuatro etapas (Ortúzar y Willumsen, 1994; Hensher y Button, 2000).

El uso de modelos de elección discreta en la planificación del transporte urbano es la base fundamental para un correcto diagnóstico de la situación y la generación de pronósticos que permiten estimar las consecuencias de distintas medidas de política (entre ellas, medidas regulatorias o desregulatorias, implementación de impuestos o subsidios, establecimiento de tarifas de los modos de transporte público, restricciones de ingreso a los mercados, desarrollo de infraestructura de caminos y/o servicios, administración del tránsito, etc.) sobre la elección o proporción de viajes en distintos modos de transporte, que contribuyan a un desarrollo sostenible de los distintos servicios públicos de transporte urbano de pasajeros.

La problemática mundial actual en la planificación del transporte en las ciudades se basa en los altos niveles de congestión vehicular y polución ambiental unidos al uso de vehículos privados (automóviles y motocicletas). La planificación del transporte urbano trata de lograr una mejor movilidad de los habitantes, disminuyendo el uso del vehículo privado y fomentando el uso de los servicios de transporte público. En este estudio, se propone realizar la estimación de demanda a partir de preferencias declaradas (PD) a los usuarios de los distintos modos de transporte urbano en la ciudad de Córdoba que permitirá analizar los cambios en el uso de los distintos modos de transporte privado como así también los patrones de uso de los servicios de transporte público (autobús y taxi/remis) ante determinadas condiciones socioeconómicas de los habitantes (por ejemplo: ingresos, composición de los hogares), del sistema de infraestructura vial urbana y de las variables relacionadas a las características de servicio de los distintos modos de transporte considerados. Entre estas últimas resultan de importancia: niveles de tarifas de los servicios públicos de autobús, taxi y remis; políticas específicas de tránsito que repercutan sobre la velocidad de transporte de los distintos modos de transporte público o privado y el tiempo de viaje de los usuarios; frecuencia de operación de los transportes públicos unida al tiempo de espera de los usuarios. La estimación de modelos de elección discreta a partir de las encuestas de preferencias declaradas a realizar, permitirá obtener medidas del impacto de

políticas específicas de transporte en el uso de los distintos modos de transporte y en las preferencias por tenencia de vehículo particular.

2. Formulación del problema de investigación

La elección del modo de transporte para realizar viajes al trabajo ha sido ampliamente modelada en numerosos estudios aplicados a diversas ciudades del mundo (Hensher, 2001; Hensher y Reyes, 2000; Rose y Hensher, 2004; Ben-Akiva y Lerman, 1985; Brownstone y Small, 1989). A partir de la aplicación de modelos de elección discreta tales como el modelo logit multinomial (LMN) y otros modelos de valor extremo generalizado (McFadden, 1974; 1977 y 1978), probit (Domencich y McFadden, 1975), entre otros; se estima la probabilidad de elección de modo de transporte en función de las variables que intervienen en la decisión del consumidor (o usuario real o potencial). Las variables explicativas de la demanda pueden clasificarse en dos grandes grupos; por una parte intervienen las variables representativas de las *características socio-económicas* de los individuos y por otra parte las *variables relacionadas al viaje realizado o a realizar* y que están relacionadas con las características técnicas de los modos de transporte considerados. Entre las primeras pueden citarse: género, edad, nivel de educación de los individuos, categoría ocupacional e ingreso. Entre las variables del segundo grupo, también denominadas *variables de nivel de servicio*, se encuentran: frecuencia del modo de transporte, tarifas o costos monetarios de viaje, tiempos de viaje, tiempos de espera, tiempos o distancias de acceso a paradas, costos de estacionamiento (para modos de transporte privado) y características específicas de calidad del modo de transporte. A partir de estas variables explicativas es posible obtener las elasticidades de la demanda de viajes con respecto a cada una de ellas. Asimismo, pueden obtenerse las tasas marginales de sustitución entre variables (o atributos que caracterizan a los modos de transporte), siendo los más utilizados para diseñar políticas de transporte el valor de los ahorros de tiempo de viaje y el valor de los ahorros de tiempo de espera¹.

La importancia que revisten las tasas marginales de sustitución entre los distintos atributos y un costo o precio determinado estriba en que representan la *valoración marginal que realiza el consumidor* de cada uno de los atributos de los modos de transporte considerados, y se utilizan en la evaluación de proyectos y políticas de transporte, por ejemplo asignándole un valor a los ahorros de tiempo generados por nuevos modos de transporte, proyectos o políticas que mejoren las condiciones de servicio de los distintos modos de transporte utilizados por los ciudadanos. Asimismo, en el contexto de la evaluación social de proyectos de inversión, estas valoraciones de los ahorros de tiempo de los usuarios sirven para estimar los beneficios sociales del proyecto.

¹ Wardman (2004) presenta una revisión de la teoría y evidencia empírica de los valores de los ahorros de tiempo de viaje, caminata y espera.

A partir de la estimación de la demanda de modo de transporte se pronostica la cuota de mercado de cada uno de los modos de transporte considerados. Así, la cuota de mercado de todos y cada uno de los modos de transporte queda determinada en función de los valores que asumen las variables de política que integran la función de demanda como las tarifas, los costos de transporte, los tiempos de viaje y los tiempos de espera de servicios de transporte público (relacionado directamente con la velocidad o frecuencia de operación en la red de transporte considerada).

Las tendencias actuales en el desarrollo de políticas de transporte urbano en el mundo se asientan en la promoción del uso del transporte público (buses, ferrocarriles urbanos por ejemplo, e incluso el taxi o remis con calidades de servicio reguladas) y en el fomento de la disminución del uso del automóvil particular. El mayor uso de los servicios de transporte público masivo en contraposición al uso del automóvil particular genera amplios beneficios sociales, entre ellos: la disminución de la congestión en el tránsito urbano mejorando los tiempos de viaje en todos los modos de transporte, la disminución de los niveles de contaminación local del aire, la disminución de las emisiones de gases que provocan efecto invernadero y la disminución de los costos de viaje para toda la población.

La estimación de modelos de elección discreta de modo de transporte permite determinar el impacto que generan políticas de transporte específicas a favor de un mayor uso de los servicios de transporte público y que redundan en los beneficios consignados. A partir de estas estimaciones es posible pronosticar los cambios en el uso de los distintos modos de transporte como resultado de cambios en las políticas de transporte específicas: como la determinación y el ajuste de tarifas de los modos de transporte público, la inversión en infraestructura de vías de transporte que puedan provocar mejoras en los tiempos de viaje de los ciudadanos, el establecimiento de restricciones o prioridades de circulación en distintas vías de la ciudad e incluso la tarifación del uso del automóvil particular para circular por centros urbanos (Evans, 1992; Newbery, 1994; Mohring, 1999; Prud'homme y Bocarejo, 2005; Mackie, 2005).

Todos estos cambios en el uso de los distintos modos de transporte generados por políticas específicas tienen lugar en un momento del tiempo y hacia el futuro a partir de su aplicación. Así, por ejemplo, un aumento de las tarifas del transporte público, *ceteris paribus*, provocará una disminución de la cuota de mercado de los servicios que han sufrido el aumento tarifario y un aumento de las cuotas de mercado de los demás modos de transporte, como el automóvil particular, cuyo uso sólo puede aumentar en la medida en que se disponga del mismo. Por lo tanto, en el corto plazo los cambios en las variables determinantes de la decisión de uso de los distintos modos de transporte disponibles generarán cambios en su probabilidad de uso. Por otra parte, ante cambios en las variables determinantes de la

demanda de los servicios de transporte público podrán generarse incentivos para que los ciudadanos aumenten o disminuyan el número de vehículos particulares que poseen. Por lo tanto, aquí se propone que *el cambio de las condiciones de servicio de los sistemas de transporte público determina la decisión de tenencia de vehículo particular*². Así, las variables de política de transporte urbano deberían considerarse a la hora de analizar el impacto que tendrán en la decisión de tenencia de vehículos particulares y en la decisión de elección del modo de transporte para realizar viajes por distintos motivos en general y para viajar al trabajo, en particular³. *Existe entonces, una relación simultánea entre la decisión de tenencia de vehículo privado, el uso de los mismos para realizar determinados tipos de viajes (al trabajo por ejemplo) y la elección de modo de transporte.*

Así por ejemplo, un aumento de la tarifa del transporte público en relación al costo de viaje en automóvil particular o un aumento de los tiempos de viaje (y/o espera) en transporte público manteniéndose constantes los tiempos de viaje en automóvil particular puede generar en el corto plazo un aumento en el uso del automóvil particular para realizar el viaje, considerando sólo aquellos habitantes que poseen automóvil. Sin embargo, en un plazo más largo, esta política puede contribuir a la decisión de compra del primer automóvil o motocicleta en una familia que no lo poseía, o a la decisión de aumento del número de automóviles y/o motocicletas en un hogar, provocando un impacto sobre la probabilidad de uso de modos de transporte privados que será difícil de contrarrestar en el futuro. De esta manera, los pronósticos de uso de los distintos modos de transporte en el mediano plazo y tras cambios de política, estarán sesgados por la falta de consideración del proceso de decisión de tenencia de vehículos particulares ante el cambio en las condiciones de movilidad urbana a partir de las políticas implementadas.

La necesidad de un estudio de elección de modo de viaje para realizar viajes al trabajo se funda en la importancia que revisten la estimación de:

- la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje y espera de los usuarios de los sistemas de transporte urbano,
- las elasticidades de demanda, entre ellas: elasticidad precio de la demanda de los distintos modos de transporte, elasticidad tiempo de viaje, elasticidad tiempo de espera,

² Matas y Raymond (2008), encuentran evidencia en relación a que la tenencia de automóviles es sensible a la calidad de los servicios de transporte público.

³ La importancia de la estimación y pronóstico de demanda de transporte a partir de este tipo de decisión conjunta ha sido enfatizada por Srinivasan y Walker (2009), existiendo muy pocos estudios al respecto, como el de Dissanayake y Morikawa (2010).

- las cuotas de mercado o proporción de la demanda de los distintos modos de transporte considerados ante escenarios de política que modifican las variables explicativas de la demanda (tiempos de viaje, tiempos de espera y tarifas, por ejemplo),
- el cambio en el excedente del consumidor ante distintos escenarios de política.

Además, utilizando estas estimaciones puede realizarse el análisis de las distintas políticas que podrían aplicarse para mejorar la calidad de vida de los habitantes de una ciudad a partir de la mejora en la movilidad urbana, considerando tanto las variables económicas propiamente dichas (tarifas, por ejemplo) como las de operación (calidad de los servicios), relacionadas con el número de vehículos de transporte público existente (oferta), frecuencias del transporte público, etc. Los resultados de la estimación de demanda a realizar podrán utilizarse para pronosticar los cambios que se producen en las cuotas de mercado de los distintos modos de transporte y en el excedente de los consumidores. Así, si se quisiera alentar el uso del transporte público de pasajeros, podría estimarse cuál sería el aumento o disminución de su cuota de mercado y luego pronosticar el total de demanda esperada en pasajes vendidos ante cambios en las variables explicativas de la demanda (tarifas, tiempos de viaje, calidad de los servicios, etc) y los cambios en el excedente del consumidor como consecuencia de la política a implementar.

Adicionalmente, pueden realizarse análisis de tarifación óptima de los servicios de transporte urbano de pasajeros subsidiados. Utilizando un modelo de maximización del bienestar social para la determinación de las tarifas del transporte urbano por autobús, considerando la existencia de economías de escala en la operación del servicio se justifica económicamente el otorgamiento de subsidios públicos al sistema de transporte (Mohring, 1972). Además, puede calcularse el monto óptimo de las tarifas y los subsidios que consideren los costos generalizados de viaje de los usuarios y en particular, las externalidades positivas que se generan con el aumento de la oferta de los servicios para abastecer una demanda creciente.

Las aplicaciones propuestas evidencian la importancia de la estimación de las elasticidades de demanda de viajes por los distintos modos de transporte urbano y de la valoración que asignan los usuarios a los distintos componentes del costo generalizado de viaje (determinante de la demanda) a los efectos de realizar la evaluación de la conveniencia de aplicación de determinadas políticas desde el punto de vista social.

3. Hipótesis de trabajo

La hipótesis de trabajo consiste en la verificación empírica del marco conceptual teórico de elección de modo de transporte aplicado al caso de la ciudad de Córdoba a través de la estimación de modelos de elección discreta a partir de encuestas de preferencias declaradas a los ciudadanos de Córdoba. Asimismo, la verificación empírica de estos modelos para la Ciudad de Córdoba permitirá contar con las primeras estimaciones de este tipo en Argentina, considerando de manera conjunta la tenencia de vehículo particular y la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo, en el marco de estudios de demanda basados en encuestas de preferencias declaradas.

El presente trabajo resulta de importancia práctica en términos de las posibilidades de aplicación de políticas públicas de transporte en la Ciudad de Córdoba, uno de las principales ciudades de Argentina, en la que el problema del diseño de los sistemas de transporte público (en especial por ómnibus) ha sido y es considerado por parte de los habitantes de la ciudad como uno de los principales problemas sociales por resolver (Marconetti, 2008, 2013).

En los últimos años se ha producido un notable incremento del número de vehículos particulares en Argentina, tanto de automóviles como de motocicletas. Se han producido aumentos considerables de las tarifas de los servicios de transporte público por autobús y de los servicios de taxi y remis sin mejorar sensiblemente la calidad de los servicios en algunos casos, como por ejemplo el transporte público por ómnibus en la ciudad de Córdoba. Asimismo, en algunos periodos se ha producido una mejora en las condiciones de financiación para la compra de automóviles y motocicletas, situación que reforzó el aumento de la tenencia y uso de estos vehículos particulares. Todo esto está contribuyendo a aumentar los niveles de congestión en el tránsito urbano y a un sistema de transporte público que no se utiliza de la manera más eficiente⁴. La aplicación de políticas miopes que no consideren los efectos que provocan las variables determinantes de la demanda de los servicios de transporte y la decisión de tenencia de vehículo particular pueden provocar un empeoramiento de las condiciones de movilidad urbana. Un caso concreto se evidencia en la Ciudad de Córdoba, que ha sufrido una descentralización urbana tanto comercial como administrativa y donde la estructura diametral de la red de transporte público no satisface los deseos de viajes de los habitantes sujeto a la restricción de minimización de los tiempos de

⁴ Tanto desde el punto de vista de la eficiencia interna de las firmas que ofrecen los servicios de transporte público como de eficiencia social, al considerar los efectos sociales positivos que se pueden generar con el fomento de su uso.

viaje y de los trasbordos, lo que provoca altos costos por pasajero transportado que se ven reflejados en tarifas de ómnibus altas que a la vez disminuyen las posibilidades de fomentar su uso y contribuir a la descongestión vehicular. Asimismo, en el sector de servicios de taxis y remis, a pesar del reordenamiento en la calidad y número de operadores realizado a partir del año 2004, existen niveles altos de tarifas que incentivan a la tenencia y uso del vehículo particular. La pérdida de pasajeros en los servicios de transporte público, tanto de ómnibus como de taxis y remis genera un círculo vicioso de aumento de tarifas, pérdida de pasajeros y nuevas presiones al alza de tarifas y al mayor uso del vehículo particular. La situación expuesta evidencia el alejamiento de las políticas de planificación del transporte urbano que intentan fomentar el uso de los modos de transporte público.

Resulta indispensable, por lo tanto, desarrollar una aplicación de estimación y pronóstico de la demanda de viajes en la ciudad de Córdoba, considerando **las dos etapas de decisión enunciadas**: la decisión interdependiente de tenencia (o disponibilidad) de vehículo particular (auto o motocicleta) y de uso de modo de transporte, aplicada a los viajes al trabajo. ***Este es el objetivo de este estudio, para el cual se propone la aplicación de encuestas de preferencias declaradas que permitirán modelar de manera conjunta la decisión o preferencia por tenencia de vehículo particular y uso de los distintos modos de transporte para realizar viajes al trabajo.*** Las encuestas de preferencias declaradas se diseñarán a partir de la aplicación de técnicas de diseño de experimentos de elección.

A partir del estudio podrán pronosticarse tanto la probabilidad de tenencia de vehículos particulares (específicamente será la disponibilidad de vehículo particular en el hogar para realizar viajes al trabajo) como el uso de los distintos modos de transporte para realizar viajes al trabajo derivando a partir de allí cuáles serán los impactos de determinadas políticas según los objetivos perseguidos en materia de planificación del transporte urbano de la ciudad. Se trata del análisis denominado “what if analysis” en inglés, que implica determinar a partir de estos modelos de elección discreta cuáles serán los cambios en las cuotas de mercado de los distintos modos de transporte al cambiar algunas variables determinantes de la demanda de los mismos. Además, se estimarán las elasticidades de demanda de los distintos modos de transporte con respecto a las variables de política y las tasas marginales de sustitución entre variables explicativas de la demanda.

4. Objetivos de la tesis

Objetivo general:

Aplicar la teoría econométrica de modelos de elección discreta al diseño de encuestas, relevamiento y estimación de modelos de demanda de transporte urbano de pasajeros, utilizando datos de preferencias declaradas en la Ciudad de Córdoba.

Objetivos específicos:

- Realizar un análisis exploratorio bibliográfico sobre los modelos de elección discreta aplicados a la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo, a la tenencia de vehículo particular y a la elección conjunta de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo.
- Analizar las distintas técnicas de diseño de experimentos para la realización de encuestas de preferencias declaradas de elección de modo de transporte urbano para realizar viajes al trabajo.
- Analizar las distintas metodologías econométricas existentes para realizar la estimación de un modelo de elección conjunta de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte para los viajes al trabajo y proponer una metodología de aplicación.
- Diseñar el instrumento de encuesta a partir de la revisión bibliográfica de las distintas técnicas de diseño de experimentos de elección existentes, especificando las variables determinantes de la elección del consumidor.
- Realizar una encuesta piloto con el objetivo de determinar la pertinencia de la encuesta diseñada y obtener valores previos de los parámetros de las funciones de utilidad a estimar para rediseñar el instrumento de la encuesta definitiva.
- Realizar un análisis del muestreo a utilizar para aplicar la encuesta y del tamaño muestral mínimo necesario para obtener una muestra representativa de la población para la estimación de la proporción de viajes al trabajo realizados en los distintos modos de transporte disponibles.
- Realizar las encuestas de preferencias declaradas a una muestra representativa de la población.
- Realizar la especificación y estimación de los modelos de elección seleccionados, que permita obtener estimadores de los parámetros de las funciones de utilidad que sean eficientes y consistentes.

- Realizar pronósticos de la proporción de viajes al trabajo y de la tenencia de vehículo particular ante distintos escenarios de política y calcular elasticidades de demanda.
- A partir de los pronósticos realizados, proponer políticas de transporte relacionadas con las variables determinantes de la demanda que promuevan el uso de los modos de transporte público.

5. Marco de referencia de la investigación

Esta investigación pretende estimar y pronosticar la demanda de viajes al trabajo en los distintos modos de transporte y la tenencia de vehículo particular en el contexto urbano con aplicación específica a la Ciudad de Córdoba, considerando la interrelación existente entre la decisión de elección de modo de transporte y la decisión de tenencia de vehículo particular para realizar viajes al trabajo.

5.1. Marco de referencia basado en la teoría económica

El marco de referencia conceptual basado en la teoría económica de la demanda se asienta en la teoría de la elección del consumidor. El proceso de elección del consumidor puede resumirse en los siguientes estadios (Louviere, Hensher y Swait, 2000):

- El consumidor identifica necesidades o problemas por resolver,
- luego busca información con la cual aprende sobre las cualidades de los productos que pueden satisfacer esas necesidades o resolver esos problemas,
- durante este proceso de búsqueda y aprendizaje los consumidores se forman creencias, que son la base de la elección, acerca de cuáles son los productos con los que pueden satisfacer esas necesidades, los atributos de los productos, los valores de esos atributos como también la incertidumbre existente,
- una vez que el consumidor posee la suficiente información, se forma una función de utilidad (o regla de decisión) que involucra la valuación y la comparación de situaciones de compromiso (trade-off) que importan en la decisión,
- el consumidor se forma un ordenamiento de preferencia de los productos y decide comprar o no comprar un producto, considerando restricciones de presupuesto disponible y otras consideraciones,
- al decidir comprar, el consumidor puede elegir una o varias alternativas, en cantidades específicas y en momentos determinados del tiempo.

La base teórica de los modelos de elección discreta contiene elementos de la teoría microeconómica del comportamiento del consumidor, tales como el supuesto de elección racional y los supuestos de la teoría de las preferencias relacionados con las propiedades que deben cumplir las funciones de utilidad. El punto esencial de separación de la teoría tradicional está relacionado al postulado de que la utilidad se deriva de las propiedades o de las características que poseen los bienes, antes que por los bienes en sí mismos. Este

paradigma de elección se basa en el trabajo de Lancaster (1966, 1971) para bienes divisibles y en el de Rosen (1974) para bienes no divisibles.

Lancaster (1966) enunció una nueva aproximación a la teoría del consumidor, que difiere de la teoría tradicional del consumidor de Debreu (1959, 1960) o Uzawa (1960), que son refinamientos de la teoría de Slutsky y Hichs-Allen y de los economistas del segundo lustro del siglo pasado. Según la teoría tradicional, los bienes son los objetos directos de la utilidad. En la teoría de Lancaster se establece que la utilidad del consumidor se deriva de las propiedades o características de los bienes. Supone que el consumo es una actividad en la cual los bienes, solos o combinados, son insumos. La utilidad o los ordenamientos de preferencias se supone que permiten ordenar colecciones de características y solamente permiten ordenar colecciones de bienes indirectamente a través de las características que ellos poseen. Los supuestos en los que se basa esta nueva teoría son:

- a) El bien por sí mismo no otorga utilidad al consumidor, posee características, y son estas características las que generan utilidad,
- b) En general, un bien poseerá más de una característica y algunas características serán compartidas por varios bienes,
- c) La combinación de bienes podrá tener diferentes características de aquellas pertenecientes a los bienes por separado.

“Resulta claro que analizando múltiples características podemos incorporar muchas de las cualidades intrínsecas de los bienes individuales... Aún mejor, esta teoría implica predicciones que difieren de las de la teoría tradicional, y las predicciones de esta nueva teoría parecen ajustar mejor a las realidades del comportamiento del consumidor” (Lancaster, 1966).

El modelo de Lancaster supone una tecnología de consumo, similar a una tecnología de producción, y postula que los bienes (X) se transforman en características objetivas, t , a través de la relación $t = B X$, donde B es una matriz ($r \times j$) que transforma J bienes en R características objetivas. La matriz B define la tecnología de consumo objetiva, esta última condición es la misma para todos los consumidores. Puede existir un rango de asignaciones tal que muchos bienes pueden producir una característica y varias características pueden ser producidas por un bien. Si bien las características objetivas implican la existencia de una medida de esas características que se presentan de la misma manera para todos los consumidores, aún pueden existir diferencias en la percepción de esas características por parte de diferentes consumidores que no son tratadas por la teoría de Lancaster y se relacionan con la formación de una función de preferencia por las características (t).

Rosen (1974) presenta un modelo basado en las características de los bienes, considerando a estos últimos no-divisibles o discretos, suponiendo que las alternativas están disponibles para un rango continuo de características objetivas, lo que permite eliminar la transformación de Lancaster desde bienes a características y especificar un modelo en términos directamente relacionados a los precios y cantidades de las características definidas objetivamente. Puede suponerse entonces, que un grupo de bienes produce determinadas características (t_1, t_2, \dots, t_R) y que todos los demás bienes consumidos integran un bien compuesto d . El modelo de Rosen puede especificarse como:

$$\begin{aligned} \max & U(t_1, t_2, \dots, t_R, d) \\ \text{s.a.} & p(t_1, t_2, \dots, t_R) + d = M \end{aligned}$$

donde el precio del bien compuesto d se supone igual a uno, M es el ingreso del consumidor y $p(t_1, t_2, \dots, t_R)$ es el precio de un bien que produce las características objetivas t_1, t_2, \dots, t_R adquiridas con la compra.

El modelo de Rosen es más apropiado para un marco teórico de elección discreta, aunque al igual que Lancaster, relaciona la utilidad directamente con las características objetivas de los bienes.

Este “paradigma de elección” se encuentra subyacente en el desarrollo de los modelos de elección discreta y relaciona la utilidad con los bienes y a través de ellos a las características objetivas vía una compleja función de funciones.

Siguiendo a Louviere, et al. (2000), el paradigma de elección basado en la formulación de Lancaster-Rosen, puede expresarse formalmente como un conjunto de tres ecuaciones:

$$\begin{aligned} s_k &= f_{kr}(t_r) \\ u_j &= g(s_{kj}) \\ P_j &= h\{g[f_{kr}(t_r)]\} \end{aligned}$$

donde:

s_k : es la utilidad marginal percibida del servicio de consumo k ,

t_r : es el valor observable de la característica objetiva r ,

u_j : es la utilidad total (preferencia) asociada a la alternativa j ,

s_{kj} : es el nivel del atributo k (representativo del servicio de consumo k) asociado a la alternativa j ,

P_j : es la probabilidad de elección de la alternativa j ,

f, g, h son funciones lineales o no lineales a ser especificadas.

El paradigma de elección es más amplio en la práctica que las contribuciones realizadas por la economía, incluyendo contribuciones desde la psicología, el marketing y la ingeniería.

En economía, el interés primordial se encuentra en la manera en que las personas reaccionan a cambios en las características que poseen los bienes asociados al valor de las características observables objetivas y no en cómo se forma la función de utilidad. Esto significa que las funciones h, g y f_{kr} pueden reducirse a una función compuesta $B(\cdot)$ sin pérdida de información y conservando una total correspondencia en contenido y forma tanto entre s_k y t_r como entre u_j y s_{kj} .

Por lo tanto, la utilidad del consumidor es una función de las características de los bienes:

$$u = U(t_1, t_2, \dots, t_R)$$

donde

t_1, t_2, \dots, t_R : son los valores observables de las características objetivas $1, 2, \dots, R$. Dicho de otro modo, t_r son las cantidades de cada característica que un consumidor obtiene del consumo de los bienes ($r = 1, 2, \dots, R$).

Esta formulación del problema supone que los bienes son infinitesimalmente divisibles, comprados frecuentemente y de valor unitario bajo.

El paradigma de elección une la utilidad con los bienes y sus características objetivas. En particular, los modelos de elección discreta basados en la teoría de la utilidad se concentran en la especificación de una función de utilidad cuyos argumentos son las alternativas de consumo, una función de probabilidad de elección asignada a cada alternativa de consumo (o elección) que es función de la utilidad y la necesidad de transformar los atributos de elección en características objetivas para desarrollar capacidad predictiva.

En una versión modificada y más completa de la formulación de Lancaster y Rosen presentada por Louviere et al. (2000), se afirma que las propiedades objetivas de los bienes pueden no ser una medida apropiada de la magnitud de los servicios que proporcionan al individuo, si se supone que los individuos actúan como si maximizaran utilidad basados en sus percepciones sobre las características. En esta versión, suponiendo una maximización de la utilidad determinística, la función de utilidad será una función de la esperanza de consumir un nivel de servicio provisto por características agrupadas que definen a un bien:

$$u = U(se_1, se_2, \dots, se_k)$$

donde se_k es la cantidad esperada del k -ésimo servicio de consumo que obtiene un consumidor al consumir la k -ésima característica asociada al bien. Esta ecuación representa la utilidad de un individuo en función de niveles de servicio esperados que se suponen que el individuo conoce con algún grado de certeza subjetiva.

Dado que el analista no posee este conocimiento de las reglas subjetivas que el consumidor utiliza para formar sus preferencias, la función de utilidad observada por el analista puede formularse de la siguiente manera:

$$u = U((se_o, se_{no})_1, \dots, (se_o + se_{no})_k)$$

los subíndices “o” y “no” indican los servicios esperados que el individuo asocia con el consumo de características de los bienes, *observadas* y *no observadas* por el analista, respectivamente. En la práctica, se supone que el componente no observado se distribuye en la población de alguna manera específica, asignando aleatoriamente a un individuo muestreado un valor sobre la distribución predefinida (por ejemplo, normal o de valor extremo).

El modelo económico teórico postulado para realizar las estimaciones y los pronósticos se basa en la teoría de la utilidad aleatoria, formalizada por Manski (1977). El supuesto básico del modelo de utilidad aleatoria es que un individuo actuando racionalmente puede comparar alternativas y elegir aquella que le reporta el máximo nivel de satisfacción o utilidad, es decir, el individuo elige la alternativa que maximiza su utilidad una vez que se confronta con el ejercicio de elección, dados los atributos de los bienes considerados (modos de transporte, por ejemplo) y sus propias características socio-económicas. El significado “aleatorio” de este modelo se utiliza debido a que en la modelación de las preferencias individuales (utilidades), el analista no posee información completa sobre los argumentos del proceso de decisión, así, una parte de la función de utilidad modelada es mensurable y otra no es directamente mensurable, es aleatoria.

Como Ortúzar y Willumsen (1994) afirman con respecto a la descomposición de la utilidad y a la utilidad determinística: “para que la descomposición sea correcta necesitamos una cierta homogeneidad en la población bajo estudio. En principio requeriremos que todos los individuos compartan (enfrenten o tengan disponible) el mismo conjunto de alternativas y las mismas restricciones, y para llegar a esto quizás sea necesario segmentar el mercado”. Sin embargo, otros autores han realizado estimaciones de demanda de transporte basados en la elección de modo de transporte que agrupan a individuos con diferentes conjuntos de elección disponibles en el contexto de la aplicación de experimentos de elección de preferencias declaradas (Rose y Hensher, 2004) o aplicando modelos de datos de panel que

permiten estimar las preferencias de diferentes segmentos poblacionales con la misma muestra de la población total.

Por lo tanto, el individuo q elegirá la alternativa que le otorgue mayor utilidad que cualquier otra alternativa del conjunto de alternativas disponibles (incluida la alternativa de “no elección”⁵). La parte sistemática (o determinística) de la utilidad individual a menudo se supone como una función lineal aditiva en los atributos, como:

$$V_{jq} = CEA_j + \sum_k \beta_{kj} x_{kjq}$$

En la que los parámetros β se suponen constantes para todos los individuos pero pueden variar entre alternativas. La CEA es la denominada “constante específica de la alternativa” que representa la influencia neta de todas las características no observadas del individuo o de la alternativa en el modelo especificado, como son: comodidad y conveniencia de uso de un modo de transporte específico.

El individuo q elige la alternativa que maximiza su utilidad, es decir:

$$U_{jq} \geq U_{iq}$$

donde los subíndices “ i ” y “ j ” se refieren a las alternativas de elección disponibles, con $i = 1, \dots, I$ e $i \neq j$.

Esto es,

$$V_{jq} + \varepsilon_{jq} \geq V_{iq} + \varepsilon_{iq}$$

$$V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq}$$

Dado que el individuo elige la opción que maximiza su utilidad, se desconoce el valor del segundo miembro de la última desigualdad presentada y el procedimiento para determinar la probabilidad de elegir la alternativa j por el individuo q viene dado por:

⁵ Por lo general se han estimado modelos de elección considerando un conjunto de alternativas determinadas, sin embargo, en los últimos años se ha incluido como una alternativa más que integra el conjunto de elección la denominada “alternativa de no elección” (Dhar, 1997; Haaijer, 1999; Dhar y Simonson, 2003).

$$P_{jq} = \text{Prob}(\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq}, \forall i \in i = 1, \dots, I; i \neq j)$$

Hasta aquí no es posible derivar una expresión analítica para el modelo sin conocer la distribución de los errores ε . Entonces, suponiendo que los errores asociados a cada alternativa tienen una distribución de Valor Extremo de Tipo I⁶, poseen las mismas varianzas y no están correlacionados, puede utilizarse el modelo logit multinomial para la estimación. Alternativamente, si los errores siguen una distribución de probabilidad normal debe aplicarse el modelo probit.

Las principales fuentes de error al realizar estimaciones de modelos de elección discreta con datos de preferencias reveladas son:

- a) Factores inobservables que afectan la elección, que pueden ser específicos a los individuos y que representan ciertos prejuicios a favor de ciertas alternativas.
- b) Error de medición en las variables explicativas que entran en la función de utilidad determinística, como pueden ser los cálculos de tiempos de viaje en aplicaciones de transporte.
- c) Errores de especificación del modelo, relacionados a la selección de variables que integran la función de utilidad determinística y/o la forma funcional en la que se incorporan a ella.

Considerando la aplicación de encuestas de preferencias declaradas para la estimación de la demanda, las dos primeras fuentes de error no se consideran apropiadas. Dado que las alternativas de elección están totalmente representadas por sus atributos, no habría razón para que existan inobservables; excepto cuando la elección dependa de variables no incluidas en el diseño del experimento de elección y aún así podría incluirse una constante que no varíe entre escenarios de elección. Por otra parte, no hay error de medición dado que los valores de las variables explicativas se presentan a los encuestados, aunque sí podría haber errores de percepción.

Con preferencias declaradas, sin embargo, puede existir una fuente de error relacionada con la variable de respuesta, con lo cual se estaría estimando una pseudo-utilidad (W) antes que la utilidad verdadera.

⁶ La función de distribución de valor extremo tipo I es la siguiente: $\text{Prob}(\varepsilon_j \leq \varepsilon) = \exp(-\exp(-\varepsilon))$.

La utilidad aleatoria puede expresarse como:

$$U_{jq} = V_{jq} + \eta_{jq} = W_{jq} + \tau_{jq}$$

donde: V_{jq} es la parte mensurable determinística, sistemática o representativa de la utilidad aleatoria U_{jq} ; η_{jq} es un error aleatorio que refleja la idiosincrasia y los gustos individuales de los individuos en cada situación de elección. W_{jq} es una pseudo-utilidad obtenida de un modelo de preferencias declaradas y τ_{jq} representa el error de medición en la variable dependiente asociado a un experimento de preferencias declaradas resultado por ejemplo del efecto fatiga en las respuestas. El subíndice j se refiere a la alternativa (modo de transporte) considerada y q se refiere al individuo q -ésimo en la muestra.

Es posible que la varianza de τ_{jq} pueda cambiar a través de los escenarios de elección (por ejemplo, podría aumentar si existe efecto fatiga o podría disminuir si el encuestado “aprende” cómo responder a medida que transcurren los escenarios de elección. Pueden suponerse τ_{jq} homocedásticas sin embargo, como es habitual con los errores η_{jq} y la ecuación puede re-escribirse como:

$$W_{jq} = V_{jq} + (\eta_{jq} - \tau_{jq}) = V_{jq} + \varepsilon_{jq}$$

Y pueden emplearse las metodologías de estimación habituales utilizadas en preferencias reveladas⁷. Sin embargo, el problema aparece en las predicciones. Si se supone que la distribución de los errores apropiada para la estimación también es apropiada para la predicción, se estaría estimando una pseudo-utilidad W_{jq} en vez de la verdadera utilidad U_{jq} . Es decir, se estarían obteniendo estimaciones de preferencias relativas expresadas a través de un experimento de preferencias declaradas en vez de obtener lo que ocurriría en el mercado.

Para realizar predicciones o pronósticos realistas, resulta crucial una comprensión acabada de la magnitud τ_{jq} y de la forma de estimar los η_{jq} y τ_{jq} en forma separada usando datos mixtos de preferencias reveladas y preferencias declaradas para estimar el modelo. Solo en el caso en que η_{jq} sea insignificante en relación a τ_{jq} , el modelo estimado podrá usarse directamente para realizar pronósticos; en otro caso, se requiere algún tipo de escalamiento de los coeficientes de V en relación a los términos de error (Bates, 1988).

⁷ Este desarrollo se basa en Bates, J. (1988).

Diseños experimentales cuidadosos de preferencias declaradas pueden hacer que τ_{iq} sea insignificante en relación a ε_{iq} y entonces el modelo estimado podría usarse para realizar pronósticos. De otro modo, habrá que adoptar un método de estimación que incorpore explícitamente la estructura de errores hipotética planteada. Sin embargo, en la actualidad existe acuerdo en que los modelos estimados con datos de preferencias declaradas en general no deben utilizarse para pronosticar directamente las cuotas de mercado de las alternativas de elección, para ello deben utilizarse modelos estimados con datos de preferencias reveladas o modelos con ambos tipos de datos donde los datos de preferencias declaradas permiten mejorar las estimaciones de preferencias reveladas sobre las cuáles se basarán los pronósticos (Hensher y Bradley, 1993; Brownstone, Bunch y Train, 2000). También existe acuerdo en que las estimaciones de demanda con datos de preferencias declaradas sirven para analizar las preferencias de elección y estimar la valoración que le otorgan los demandantes a ciertos atributos que caracterizan a las alternativas de elección. En el contexto de los modelos de elección de modo de transporte por ejemplo, se calcula la valoración de los ahorros de tiempo de viaje y tiempo de espera, que se obtienen a partir de los parámetros estimados de un modelo de elección discreta.

Además, considerando la estimación de modelos de elección discreta con una muestra de individuos, las magnitudes de ambos errores, η_{jq} y τ_{jq} , se verán afectadas. Puede esperarse que la varianza de los errores η_{jq} aumente dado que se está suponiendo que la misma función de utilidad debe representar a todos los individuos de la muestra, aunque debe señalarse que las metodologías de preferencias declaradas de alguna manera mitigan el problema al permitir introducir en el análisis las variaciones de gustos entre consumidores (Fowkes y Wardman, 1988; Swait y Bernardino, 2000; Hess, 2005). Además, puede esperarse que la varianza de τ_{jq} pueda diferir entre individuos, dado que para algunos resulta fácil y para otros resulta difícil responder este tipo de encuestas. La incorporación del análisis de mediciones repetidas ha sugerido que el resultado de ignorarlas puede resultar en una subestimación de los desvíos estándar de los parámetros estimados (Louviere y Woodworth, 1983). Uno de los principios fundamentales de los modelos de elección discreta es la posibilidad de incorporar variaciones en el comportamiento de los encuestados, dado que el supuesto de una población homogénea no puede considerarse válida en general. Existen dos metodologías clásicas para resolver este problema, el uso de segmentaciones determinísticas de la población y el uso de la representación aleatoria continua de variaciones en los gustos de los encuestados a través de los denominados modelos mixtos. Además, se ha propuesto el uso de modelos de elección discreta denominados “modelos mixtos discretos”, como una forma alternativa de resolver el problema y mejorando algunos inconvenientes de los modelos mixtos tradicionales.

La estimación de la función de utilidad de los consumidores involucra el uso de técnicas econométricas de elección discreta como los modelos logit multinomial, logit anidados, logit mixto o de parámetros aleatorios (también denominado kernel logit), logit con anidamientos cruzados o logit de red, que se aplican basados en la teoría de la utilidad aleatoria.

5.2. Marco de referencia metodológico econométrico para la estimación de demanda con modelos de elección discreta

El modelo económico presentado evidencia la necesidad de estimar mediante métodos econométricos la probabilidad de elección de cada una de las alternativas que enfrenta el consumidor.

En términos de estimación, los principales modelos de elección discreta desarrollados y aplicados son los siguientes:

- a) Logit multinomial, considerando el modelo logit binario como un caso especial.
- b) Probit multinomial (y binario como caso específico).
- c) Logit anidado o jerárquico.
- d) Logit con parámetros aleatorios, también denominado logit mixto.
- e) Logit HEV (de valor extremo heteroscedástico).
- f) Logit CovHet (de heterogeneidad de la covarianza).
- g) Logit multinomial heteroscedástico de clase latente.
- h) Probit multinomial multiperiodo.
- i) Logit anidado generalizado.
- j) Logit anidado cruzado (cross-nested logit en inglés).
- k) El modelo PCL (pair combinatorial model).
- l) El modelo ordenado de valor extremo generalizado (OGEV).
- m) El modelo de Valor extremo generalizado en red⁸ basado en Daly y Bierlaire (2006).

Cabe señalar, que la familia de modelos logit multinomiales y logit anidados con utilidad aleatoria aditiva⁹ pertenecen a la clase de modelos de Valor Extremo Generalizado (VEG)¹⁰. En ellos, las funciones de utilidad siguen una distribución aleatoria de valor extremo derivada de las funciones generadoras que cumplen con los requisitos del teorema de McFadden (1978), el cual se presenta en la sección 5.2.5. Los modelos Probit por otra parte, integran el grupo de modelos que no pertenecen a esta familia.

⁸ Network GEV model, en inglés.

⁹ Modelos en los que la distribución de los términos de error no dependen de las variables que componen las funciones de utilidad sistemática de las alternativas de elección.

¹⁰ Generalized Extreme Value (GEV) models, en inglés.

A continuación se realiza un análisis teórico de los modelos que se utilizarán en este estudio para la estimación de la demanda de modo de transporte y de tenencia de vehículo privado en el contexto de los modelos de elección discreta, a saber: logit multinomial, logit anidado o jerárquico y logit mixto. Además, se discutirán los modelos multidimensionales que permitirán realizar estimaciones conjuntas de modo de transporte y tenencia de vehículo particular.

5.2.1. El modelo logit multinomial

El modelo logit multinomial para la elección entre k alternativas, atribuido a Luce (1959), expresa la probabilidad de que un individuo elija alguna alternativa j como una función de las utilidades de las k alternativas disponibles:

$$P_j = \frac{\exp(V_j)}{\sum_k \exp(V_k)}$$

En el caso binario, cuando solo existen dos alternativas disponibles denominadas “ i ” y “ j ”, el modelo es:

$$P_j = \frac{\exp(V_j)}{\exp(V_i) + \exp(V_j)} = \frac{1}{1 + \exp(V_i - V_j)} = \frac{1}{1 + \exp-(V_j - V_i)}$$

Los dos últimos miembros de la igualdad sólo serán aplicables a las variables en diferencias cuando las variables que entran en la utilidad sistemática sean genéricas y los coeficientes sean fijos entre alternativas.

Muchas aplicaciones en las áreas de marketing, transporte y economía ambiental usan la especificación simple del modelo logit multinomial (LMN), sin embargo, el uso de este modelo implica una serie de supuestos específicos, a saber:

- Términos de error aleatorio independientes e idénticamente distribuidos,
- Especificación de un modelo de corte transversal sin estructura de rezagos distribuidos,
- Falta de posibilidad de separación de los gustos con otros efectos que definen el rol de los atributos en cada expresión de utilidad indirecta (dado que se confunden con la escala),

- Parámetros o factores de escala constantes para todas las alternativas y arbitrariamente normalizados al valor de uno,
- No existencia de heterogeneidad inobservable de las preferencias, componentes aleatorios que no están serialmente correlacionados y parámetros de utilidad fijos (no aleatorios).

El modelo logit multinomial posee una propiedad importante denominada **Independencia de las Alternativas Irrelevantes (IAI)** que establece que la razón de las probabilidades de elección de una alternativa sobre otra (suponiendo que ambas tienen una probabilidad de elección distinta de cero) no será afectada por la presencia o ausencia de cualesquiera alternativas adicionales en el conjunto de elección. De esta propiedad se deriva que los elementos aleatorios de la función de utilidad son independientes entre alternativas e idénticamente distribuidos. Como ya se apuntó, suponer una función de distribución de probabilidad de los errores de **valor extremo de tipo I** lleva a la especificación del modelo LMN. Esta propiedad de IAI otorga al modelo una ventaja o fortaleza y una desventaja o debilidad.

La ventaja es que provee un modelo de elección de cálculo fácil, permitiendo introducir o eliminar alternativas en los conjuntos de elección sin necesidad de re-estimar el modelo¹¹. Es decir, la presencia o ausencia de una alternativa preserva la razón de probabilidades asociadas a otras alternativas en el conjunto de elección (es decir, P_i/P_j no será afectada por cambios en las características de la alternativa k).

La desventaja es que los atributos observables e inobservables de la utilidad pueden no ser independientes y/o si los componentes inobservables de la utilidad están correlacionados entre alternativas, esto llevará a parámetros de la función de utilidad sesgados, introduciendo significativos errores de predicción del modelo.

Este supuesto de IAI no es, a priori, deseable o indeseable. Solo es necesario contrastar su existencia a través de test estadísticos adecuados, como el propuesto por Hausman y McFadden (1984), para estar seguros de utilizar el modelo LMN y obtener buenas predicciones.

Una característica importante que surge al estimar modelos de elección discreta, y dentro de ellos el LMN, es el llamado "**factor de escala**" que implica que los coeficientes del modelo LMN estarán multiplicados por un escalar relacionado con los errores en las respuestas de preferencias declaradas.

¹¹ Cualquier otra especificación del modelo de elección requiere reestimación.

Para exponer el problema, recordemos que los modelos basados en la utilidad aleatoria del tipo:

$$U_i = V_i + \varepsilon_i$$

donde V es la utilidad determinística u observable.

ε es el término de error que representa efectos inobservables sobre la elección.

En un modelo de preferencias declaradas el término de error puede componerse por:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i^* + \varepsilon_i^{pd}$$

donde

ε_i^* : representa los gustos individuales de los individuos en cada situación de elección de preferencias declaradas.

ε_i^{pd} : representa influencias específicas de las elecciones de preferencias declaradas, producidas por: sesgos de respuesta, mala interpretación, fatiga o incertidumbre.

En el análisis de dos alternativas de elección, el modelo LMN es:

$$P_1 = \frac{e^{\Omega V_1}}{e^{\Omega V_1} + e^{\Omega V_2}} = \frac{1}{1 + e^{\Omega(V_2 - V_1)}}; \quad \Omega = \frac{\pi}{\sqrt{6} \cdot \sigma_{de}}$$

donde

Ω : es el factor de escala o parámetro de precisión, que es una función inversa de la desviación estándar de los efectos inobservables o errores del modelo.

σ_{de} : es la desviación estándar de la diferencia de los errores de las dos funciones de utilidad consideradas en la modelación.

En el modelo LMN, el error aleatorio del modelo de elección es un problema debido a que no puede distinguir entre errores legítimos o no legítimos. Particularmente, el error específico de preferencias declaradas (ε_i^{pd}) no ejerce influencia sobre el comportamiento real de los usuarios, pero influirá en los pronósticos a realizar a través del impacto que provoca en la escala de los coeficientes estimados. A medida que aumente el error específico de preferencias declaradas, Ω disminuirá. Al estimar un modelo LMN se está imponiendo que el factor de escala es igual a la unidad.

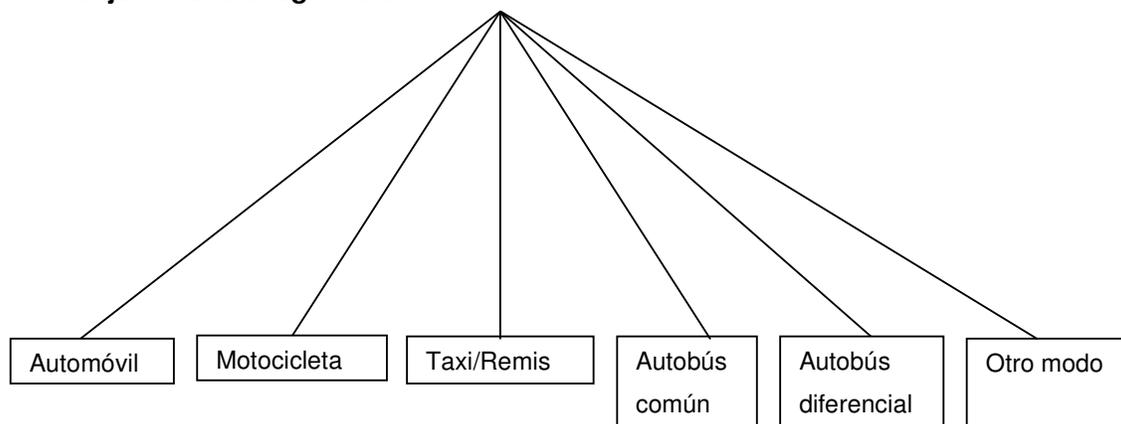
Las valoraciones relativas o tasas marginales de sustitución entre atributos de los modos de transporte (como por ejemplo, el valor del tiempo de viaje al trabajo) no se verán afectadas ya que se obtienen como resultado del cociente entre dos parámetros estimados de un modelo LMN que incluyen el mismo factor de escala.

En general, al estimar modelos LMN, se supone un factor de escala igual a la unidad, el cual adquiere gran relevancia en los modelos logit anidados que se analizan en el siguiente apartado.

En la Figura 1 se presenta un diagrama de árbol de la elección de modo de transporte, considerando el modelo logit multinomial.

Como puede apreciarse en la figura, el consumidor enfrenta un conjunto de alternativas para realizar su elección de viajar al trabajo, suponiendo que los errores de estimación son independientes e idénticamente distribuidos (IID), lo que es equivalente a la hipótesis de IAI y por lo tanto, ninguna alternativa posee información en las influencias no observadas (errores) que sea determinante en el resultado de elección, es decir, que sea diferente entre alternativas o grupos de alternativas (esto es equivalente a decir que todas las alternativas poseen al misma distribución para los errores). Asimismo, puede apreciarse que se consideran cinco alternativas de elección específicas relacionadas con los modos de transporte más utilizados para realizar viajes al trabajo, ellas son: automóvil, motocicleta, taxi o remis, autobús común y autobús diferencial. El sexto modo de transporte presentado hace referencia a la posibilidad de un ciudadano de utilizar otro modo de transporte diferente a los cinco anteriores, como por ejemplo: realizar el viaje a pie, en bicicleta o en automóvil compartido. Asimismo, este último modo de transporte corresponde a la alternativa de no elección de los anteriores en el contexto de los escenarios de elección que se presentan en encuestas de preferencias declaradas.

Figura 1: Diagrama de árbol de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo – Modelo logit multinomial



Cabe señalar que se considera a la alternativa Taxi como equivalente al Remis, dadas las características de conformación del mercado regulado existente y la similitud entre las tarifas y formas de operación de ambos servicios¹².

5.2.2. El modelo logit anidado o jerárquico

En el modelo logit multinomial presentado en el apartado anterior, la condición de distribución idéntica e independiente de los errores (IID) del modelo posee una asociación desde el punto de vista del comportamiento del individuo con la propiedad de Independencia de las Alternativas Irrelevantes (IAI). La propiedad de IAI establece que el ratio de las probabilidades de elección de cualquier par de alternativas es independiente de la presencia o ausencia de cualquier otra alternativa en el conjunto de elección. Una implicación de comportamiento asociada a esta propiedad es que todos los pares de alternativas son igualmente similares o diferentes. Para el conjunto de atributos no observados, esto implica suponer que toda la información en los componentes aleatorios es idéntica tanto en cantidad como en la relación entre pares de alternativas y por lo tanto, a través de todas las alternativas (al igual que la condición de IID de los errores).

El primer modelo introducido para solucionar el problema de la violación del supuesto de IID/IAI fue el modelo logit anidado. Este modelo reconoce la posibilidad de que cada alternativa pueda contener información en las características no observables de cada una de ellas que juegue un rol diferente entre alternativas en la determinación de un resultado de elección.

El modelo logit anidado es un método de elección específicamente diseñado para reconocer la posibilidad de existencia de diferentes varianzas entre alternativas y alguna correlación entre subconjuntos de alternativas. Esto es equivalente a relajar el supuesto de IID/IAI.

Para dar un ejemplo, considerando la elección de modo de transporte de la Figura 1, pueden agruparse los distintos modos de transporte disponibles para realizar viajes al trabajo según sean privados o públicos. Entre los modos de transporte privado se incluyen el automóvil y la motocicleta como opciones para realizar viajes al trabajo. En los modos de transporte público se incluyen el taxi o remis, el autobús común y el autobús diferencial.

La función de utilidad indirecta asociada a una alternativa elemental “*j*” incluida en un nodo genérico (transporte público en este caso) viene dada por:

¹² Para una revisión de la conformación del mercado de taxis y remis en la Ciudad de Córdoba, ver Sartori (2006a).

$$U_{j, tpub} = U_{tpub} + U_{j/tpub}$$

Que puede expresarse en función de sus componentes observados (V) y no observados (ε, η):

$$U_{j, tpub} = V_{tpub} + V_{j/tpub} + \eta_{tpub} + \varepsilon_{j/tpub}$$

Suponiendo independencia entre las distribuciones de las dos dimensiones de elección y maximización de la utilidad aleatoria, la probabilidad de elección de la alternativa j (autobús común, por ejemplo) quedará definida por la probabilidad conjunta de elección del modo de transporte público ($Prob(tpub)$) y la probabilidad de elección de la alternativa j dentro de las alternativas de transporte público ($Prob(j/tpub)$).

Así, la probabilidad de elección del autobús urbano será:

$$Prob(j) = Prob(j, tpub) = Prob(tpub) \cdot Prob(j/tpub)$$

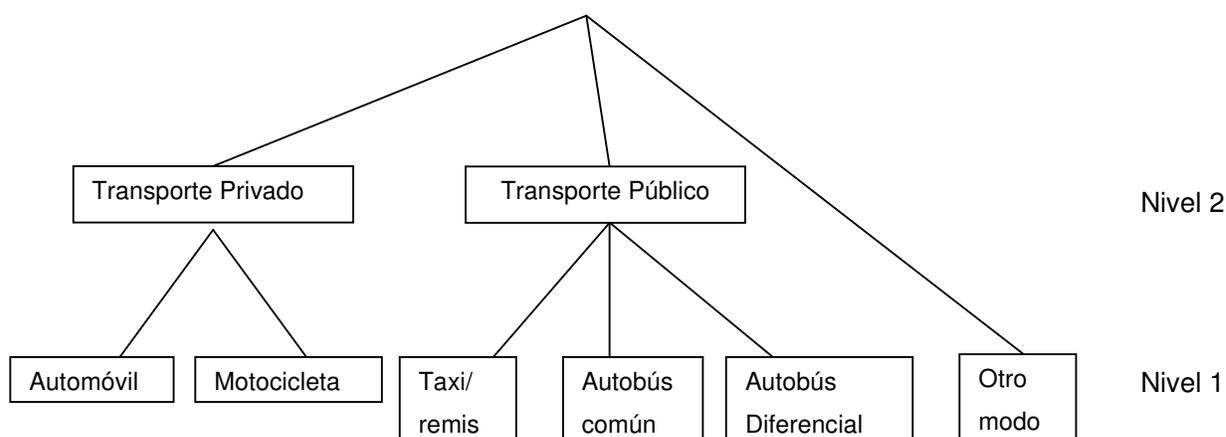
En esta situación, la relación entre las dos decisiones es clara (son interdependientes o correlacionadas), sin embargo existen situaciones en las cuales no resulta tan clara esta interdependencia. Otro ejemplo es la elección de lugar de trabajo y modo de transporte para viajar al trabajo, mostrando interdependencia entre lugar de destino y modo de transporte.

Cuando dos o más elecciones son independientes, la probabilidad conjunta es simplemente el producto de las probabilidades marginales de elección.

En la Figura 2, se presenta el diagrama de árbol considerando dos niveles de desagregación, en el nivel 1 se presentan las alternativas básicas o elementales y en el nivel 2 se presentan las alternativas compuestas. Como regla general, los atributos únicos deben incluirse en las alternativas elementales, no en las alternativas compuestas. Así, en el ejemplo presentado, el tiempo de viaje en autobús y en taxi deben incluirse como variables explicativas de las expresiones de utilidad de autobús y taxi, respectivamente y no en la alternativa compuesta de transporte público. Asimismo, las características socioeconómicas de los individuos o del contexto que no son atributos específicos de las alternativas elementales (por ej., ingreso, edad, tenencia de automóvil) pueden incluirse tanto en las expresiones de utilidad de las alternativas elementales como de las alternativas compuestas, aunque Hensher, Rose y Greene (2005) afirman que ajustan mejor en las alternativas compuestas. Como puede apreciarse en la figura 2, queda la alternativa "Otro

modo” sin ninguna pertenencia a un nodo del nivel 2, por esta razón este tipo de modelo logit anidado se denomina degenerado¹³.

Figura 2: Diagrama de árbol de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo – Modelo logit multinomial jerárquico (distinguiendo entre modos de transporte público y privado)



Siguiendo con el ejemplo de la Figura 2, pueden especificarse tres modelos de elección, basados en los siguientes conjuntos de elección (CE):

CE₁: automóvil vs. motocicleta

CE₂: taxi/remis vs. autobús común vs. autobús diferencial

CE₃: transporte privado vs. transporte público vs. “Otro modo”

Estos tres conjuntos de elección se modelan como funciones logit multinomiales independientes reconociendo que el CE₃ está influido por los niveles de utilidad asociados con las alternativas elementales del nivel 1 que integran los conjuntos de elección CE₁ y CE₂.

La función de utilidad determinística de cada alternativa elemental puede escribirse como:

$$V_{auto} = \beta_{0auto} + \beta_{1auto} \cdot f(X_{1auto}) + \beta_{2auto} \cdot f(X_{2auto}) + \dots + \beta_{kauto} \cdot f(X_{kauto})$$

$$V_{moto} = \beta_{0moto} + \beta_{1moto} \cdot f(X_{1moto}) + \beta_{2moto} \cdot f(X_{2moto}) + \dots + \beta_{kmoto} \cdot f(X_{kmoto})$$

$$V_{bus} = \beta_{0bus} + \beta_{1bus} \cdot f(X_{1bus}) + \beta_{2bus} \cdot f(X_{2bus}) + \dots + \beta_{kbus} \cdot f(X_{kbus})$$

¹³ Cuando todas las alternativas básicas (del nivel 1) pertenecen a un nodo intermedio (nivel 2), se utiliza simplemente la denominación de logit anidado, sin la calificación de “degenerado”.

$$V_{taxi/remis} = \beta_{0taxi/remis} + \beta_{1taxi/remis} \cdot f(X_{1taxi/remis}) + \beta_{2taxi/remis} \cdot f(X_{2taxi/remis}) + \dots \\ \dots + \beta_{ktaxi/remis} \cdot f(X_{ktaxi/remis})$$

$$V_{dif} = \beta_{0dif} + \beta_{1dif} \cdot f(X_{1dif}) + \beta_{2dif} \cdot f(X_{2dif}) + \dots + \beta_{kdif} \cdot f(X_{kdif})$$

$$V_{otro} = \beta_{0otro}$$

Considerando que los atributos de las alternativas elementales que pertenecen a una alternativa compuesta ejercen influencia en la elección entre las alternativas compuestas, debe incluirse esta información en las expresiones de utilidad de cada alternativa compuesta. Por ello se incluye en la alternativa compuesta un índice de *utilidad máxima esperada* (*UME*). La *UME* es igual al logaritmo natural del denominador del modelo LMN asociado con las alternativas elementales.

Por ejemplo, para la alternativa compuesta “transporte público” del ejemplo de la Figura 2:

$$UME(tpub) = \ln [\exp(V_{taxi}) + \exp(V_{bus}) + \exp(V_{dif})]$$

Y para la alternativa compuesta “transporte privado” será:

$$UME(tpriv) = \ln [\exp(V_{auto}) + \exp(V_{moto})]$$

Luego, debe incluirse este índice UME^{14} en las expresiones de utilidad de cada alternativa compuesta correspondiente como otra variable explicativa, así:

$$V_{tpub} = \beta_{0tpub} + \beta_{1tpub} \cdot f(X_{1tpub}) + \beta_{2tpub} \cdot f(X_{2tpub}) + \dots + \beta_{ktpub} \cdot f(X_{ktpub}) + \beta_{k+1 tpub} \cdot UME_{k+1 tpub}$$

$$V_{tpriv} = \beta_{0tpriv} + \beta_{1tpriv} \cdot f(X_{1tpriv}) + \beta_{2tpriv} \cdot f(X_{2tpriv}) + \dots + \beta_{ktpriv} \cdot f(X_{ktpriv}) + \beta_{k+1 tpriv} \cdot UME_{k+1 tpriv}$$

donde:

tpub: transporte público, *tpriv*: transporte privado.

El parámetro estimado del índice *UME* es el test estadístico que indica la relevancia de la interdependencia. Para comprender el significado del parámetro estimado asociado al índice *UME* es necesario considerar explícitamente el “factor de escala”, que no se ha incluido en las ecuaciones anteriores para simplificar la notación e interpretación del tema.

El factor de escala es parte componente de la varianza de los efectos inobservables del modelo que siguen una distribución de valor extremo de tipo I. Esta varianza es igual a:

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\lambda^2}$$

donde π es una constante igual a 3,14159 y λ es el factor de escala desconocido.

¹⁴ También denominado valor inclusivo (VI), logsum o costo compuesto.

El factor de escala describe el perfil de la varianza de los efectos inobservables asociados con una alternativa. En el modelo LMN, con todas las varianzas constantes, se establece arbitrariamente que todas las varianzas son iguales a la unidad y por lo tanto no hay necesidad de considerar diferentes factores de escala para las distintas alternativas. De este modo, el factor de escala de cada alternativa subyacente en el modelo LMN es igual a 1,283¹⁵. Cuando se permite que los factores de escala varíen entre alternativas, dada la posibilidad de existencia de diferentes varianzas, debe incluirse en el modelo LMN el factor de escala de manera explícita.

Al relajar el supuesto de varianza constante, el factor de escala λ se convierte en un parámetro adicional que multiplica a cada atributo del modelo de utilidad.¹⁶ Incorporando el factor de escala en la función de utilidad determinística de las alternativas elementales se tiene para la alternativa j -ésima:

$$\lambda_j V_j = \lambda_j \beta_{0j} + \lambda_j \beta_{1j} \cdot f(X_{1j}) + \lambda_j \beta_{2j} \cdot f(X_{2j}) + \dots + \lambda_j \beta_{kj} \cdot f(X_{kj})$$

Hasta aquí se ha considerado el factor de escala en el nivel 1 del árbol del modelo logit anidado. Pero también deberá considerarse en el nivel 2, al estimar la utilidad de la alternativa compuesta o genérica. La *UME* del transporte público del ejemplo planteado deberá incluir potencialmente cuatro factores de escala, para el taxi/remis, el autobús común, el autobús diferencial y el transporte público. Dado que el nivel 1 de esta rama del árbol debe especificarse como un modelo LMN, debe imponerse el supuesto de varianza constante en este nivel y de esta manera hacer colapsar tres factores de escala en uno, quedando aún dos parámetros de escala (uno para el nivel 1 y otro para el nivel 2). La relación entre estos dos factores de escala es equivalente a la relación entre los desvíos estándar y provoca un impacto en la estimación del parámetro del índice *UME* en el nivel 2. El parámetro del índice *UME* del nivel 2 es la razón entre el factor de escala del nivel 2 (numerador) y el factor de escala del nivel 1 (denominador).

De esta manera, la utilidad de la alternativa compuesta “transporte público” del nivel 2 queda:

$$V'_{tpub} = \beta_{0tpub} + \beta_{1tpub} \cdot f(X_{1tpub}) + \beta_{2tpub} \cdot f(X_{2tpub}) + \dots + \beta_{ktpub} \cdot f(X_{ktpub}) + \frac{1}{\lambda_j} \cdot UME_{k+1tpub}$$

Que también puede expresarse como:

¹⁵ Despejando el factor de escala de la fórmula de la varianza de los errores se tiene: $\lambda = \sqrt{\frac{\pi^2}{6\sigma^2}}$, e

igualando la varianza a la unidad, $\lambda = 1,283$.

¹⁶ λ es inversamente proporcional a la desviación estándar.

$$V'_{tpub} = V_{tpub} + \frac{1}{\lambda_j} \cdot UME_{k+1tpub}$$

Y considerando el factor de escala asociado al nodo de transporte público, se tiene:

$$\lambda_{tpub} V'_{tpub} = \lambda_{tpub} V_{tpub} + \frac{\lambda_{tpub}}{\lambda_j} \cdot UME_{k+1tpub}$$

Además, la probabilidad de elección de una alternativa elemental “j” que pertenece al nodo de transporte público será, por ejemplo:

$$P_{j,tpub} = P_{tpub} \cdot P(j / tpub) = \frac{\exp(\lambda_{tpub}(V'_{tpub}))}{\sum_{g'=tpub,priv,otro} \exp(\lambda_{g'}(V'_{g'}))} \cdot \frac{\exp(\lambda_j V_{j/tpub})}{\sum_{j'=1}^J \exp(\lambda_j V_{j'/tpub})}$$

en la cual:

g' : *tpub, tpriv, otro (modo)*.

j' : índice de las J alternativas elementales pertenecientes a una alternativa genérica o nodo compuesto g' .

$\lambda_{g'}$: parámetro de escala de las alternativas genéricas (transporte público, privado y otro modo).

λ_{tpub} : parámetro de escala de la función de utilidad de las J alternativas pertenecientes a la alternativa genérica transporte público.

Considerando que el último término de V'_{tpub} es:

$$\left(\frac{1}{\lambda_{j'}}\right) \cdot UME_{k+1tpub} = \left(\frac{1}{\lambda_{j'}}\right) \cdot \log \sum_{j'=1}^J \exp(\lambda_{j'} V_{j'/tpub})$$

Explicitando este último término en $P_{j,tpub}$, queda:

$$P_{j,tpub} = P_{tpub} \cdot P(j / tpub) = \frac{\exp(\lambda_{tpub} V_{tpub} + \frac{\lambda_{tpub}}{\lambda_j} \log \sum_{j'=1}^J \exp(\lambda_{j'} V_{j'/tpub}))}{\sum_{g'=tpub,priv,otro} \exp(\lambda_{g'} V_{g'} + \frac{\lambda_{g'}}{\lambda_{j'}} \log \sum_{j'=1}^J \exp(\lambda_{j'} V_{j'/g'}))} \cdot \frac{\exp(\lambda_j V_{j/tpub})}{\sum_{j'=1}^J \exp(\lambda_j V_{j'/tpub})}$$

donde:

λ_j = el factor de escala asociado a las alternativas básicas del nivel 1.

λ_{tpub} = el factor de escala asociado con los modos de transporte público (taxi/remis, autobús común y autobús diferencial) del nivel 2.

λ_g puede asumir los valores λ_{pub} , λ_{priv} , λ_{otro} . Además, $\lambda_{otro}=1$ dado que se trata de una alternativa genérica.

Para identificar el modelo debe imponerse una restricción adicional, normalizando uno de los dos factores de escala de los diferentes niveles, comúnmente haciéndolo igual a la unidad.

Se han propuesto dos especificaciones del modelo en relación a la normalización con respecto a cada uno de los dos factores de escala incorporados en la ecuación anterior. La primera especificación realiza la normalización en el nivel 1 (normalización desde abajo) y la segunda especificación realiza la normalización en el nivel 2 (normalización desde arriba). Al normalizar en el nivel 1 se establece $\lambda_j = 1$ y se estiman los parámetros de escala del nivel 2 (λ_{pub} y λ_{priv}). Al normalizar en el nivel 2, se establece $\lambda_{pub} = 1$ o $\lambda_{priv} = 1$ (o ambos) y se estima λ_j . Los parámetros estimados¹⁷ en ambos casos, serán diferentes, aunque los pronósticos derivados de ellos serán equivalentes. Asimismo, debe señalarse que para satisfacer el supuesto de maximización global de la utilidad, el parámetro asociado a cada variable UME debe encontrarse en el intervalo [0,1] y no debe aumentar para niveles superiores del árbol. Este resultado se deriva de la existencia de mayor varianza de los errores en el nivel superior, dado que incluye los componentes de la varianza de ambos niveles. Como consecuencia, debe cumplirse que: $0 \leq \lambda_g \leq \lambda_j$.

Cabe señalar, que el modelo logit anidado o jerárquico permite considerar estructuras de decisión simultáneas, reconociendo la existencia de jerarquías (categorías o clases) de decisión en los distintos niveles que no implican la existencia de un comportamiento secuencial de elección.

5.2.3. El modelo logit mixto

Siguiendo a Train (2009) puede afirmarse que el modelo logit mixto es cualquier modelo cuyas probabilidades de elección pueden expresarse como:

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta) f(\beta) d\beta,$$

Donde el subíndice n se refiere al individuo y el subíndice i se refiere a la alternativa i -ésima, además:

$L_{ni}(\beta)$: es la probabilidad logit evaluada en el vector de parámetros β .

¹⁷ Una explicación más detallada sobre este requisito se encuentra en Hensher et al. (2005).

$$L_{ni}(\beta) = \frac{e^{V_{ni}(\beta)}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}(\beta)}}$$

y $f(\beta)$ es una función de densidad. $V_{ni}(\beta)$ es la parte observada de la función de utilidad, que depende de los parámetros β , que comúnmente es una función lineal en los parámetros β y puede expresarse como: $V_{ni}(\beta) = \beta' x_{ni}$.

Por lo tanto, la probabilidad obtenida con el modelo logit mixto es un promedio ponderado de la fórmula logit evaluada en diferentes valores de β , con ponderadores dados por la densidad $f(\beta)$, quedando entonces expresada como sigue:

$$P_{ni} = \int \left(\frac{e^{V_{ni}(\beta)}}{\sum_{j=1}^n e^{V_{nj}(\beta)}} \right) f(\beta) d\beta$$

Es decir, las probabilidades de elección del modelo logit mixto se calculan como la integral de las probabilidades de elección del modelo logit multinomial sobre una distribución de los términos de error supuesta y determinada. Esta distribución de probabilidad de los términos de error captura varianzas y correlaciones en factores no observados.

Por lo tanto, el modelo logit mixto¹⁸ es un modelo logit en el cual las probabilidades de elección se calculan como una combinación convexa de funciones de densidad de los términos aleatorios del modelo. El término “mixto” (del inglés “mixed”) se deriva de la teoría estadística, en la cual una función de distribución de probabilidad mixta es una combinación convexa de otras funciones de distribución de probabilidad. El promedio ponderado de varias funciones de utilidad se llama función mixta (del inglés “mixed function”) y la densidad que provee los ponderadores se llama “distribución de mezcla” (del inglés “mixing distribution”).

Este modelo permite superar algunas limitaciones del modelo logit multinomial estándar, entre ellas: la variación aleatoria de los gustos, patrones de sustitución no restringidos y correlación en los factores no observados a través del tiempo. Resulta preciso puntualizar que el modelo logit mixto no presenta la propiedad de IAI o los patrones restrictivos de sustitución del modelo logit multinomial según los cuales las elasticidades cruzadas de la demanda entre alternativas son iguales, considerando al individuo.

¹⁸ En la literatura este modelo se menciona de diversas maneras, como modelo “logit mixto”, “logit kernel” o “modelo logit de parámetros aleatorios”.

En el modelo logit mixto se estiman dos conjuntos de parámetros: los parámetros β que entran en la función logit y los parámetros que describen la función de densidad $f(\beta)$, cualquiera sea el tipo de función de densidad supuesta. Así por ejemplo, si la función de densidad de β es normal, entonces los parámetros a estimar que caracterizan a esta distribución serán la media (b) y la matriz de varianzas y covarianzas de β . Cabe señalar, que habrá que tener cuidado a la hora de especificar la función de densidad de los parámetros aleatorios para no incurrir en errores de especificación relacionados con el signo esperado que debieran asumir los parámetros. Un caso típico en los modelos de elección de modo de transporte es el del parámetro asociado al tiempo de viaje, el cual por definición no debe tomar valores positivos y por lo tanto, suponer una función de densidad normal no resulta apropiado ya que incluirá valores positivos y negativos.

Además, este modelo permite aproximar cualquier modelo de utilidad aleatoria, con una especificación apropiada de las variables de elección y la distribución de β (McFadden y Train, 2000).

En la mayoría de las aplicaciones la función de densidad $f(\beta)$ se especifica como continua. Si por ejemplo, la parte determinística de la función de utilidad se especifica como lineal, $V_{ni}(\beta) = \beta' x_{ni}$ y $f(\beta)$ se especifica como normal con media b y covarianza W , la probabilidad de elección queda como:

$$P_{ni} = \int \left(\frac{e^{\beta' x_{ni}}}{\sum_{j=1}^n e^{\beta' x_{nj}}} \right) \phi(\beta | b, W) d\beta,$$

en la cual $\phi(\beta | b, W)$ es la función de densidad normal con media b y covarianza W , obteniéndose estimaciones de b y W como resultado del modelo.

También puede especificarse a esta función de densidad (ponderador) en forma discreta, asumiendo β un conjunto finito de valores como por ejemplo: b_1, b_2, \dots, b_M ; con una probabilidad s_m de que $\beta = b_m$. Esta especificación puede utilizarse cuando existen diferentes segmentos bien definidos de la población bajo estudio que poseen distintas preferencias, y que da lugar a los modelos denominados "modelos de clase latente". En este caso, y suponiendo nuevamente que la parte determinística de la función de utilidad es lineal en los parámetros, $V_{ni}(\beta) = b' x_{ni}$, la probabilidad de elección es:

$$P_{ni} = \sum_{m=1}^M s_m \left(\frac{e^{b_m' x_{ni}}}{\sum_{j=1}^n e^{b_m' x_{nj}}} \right)$$

en la cual s_m es el porcentaje de la población en el segmento m , que se estima en conjunto con los parámetros b .

Por otra parte, el modelo logit multinomial estándar es un caso especial de modelo logit mixto, en el que la función de densidad es una función degenerada en los parámetros fijos b : $f(\beta) = 1$ para $\beta = b$ y $f(\beta) = 0$ para $\beta \neq b$.

El modelo logit mixto se define sobre la base de la forma funcional de sus probabilidades de elección, que son las integrales de las probabilidades logit estándar sobre una densidad de sus parámetros. El cálculo de las probabilidades de elección utilizando métodos de simulación permite aprovechar su potencial para la estimación de varios términos o parámetros aleatorios especificados, dado que mediante cálculo matemático sólo es posible incluir una o dos dimensiones de integración para la estimación. Adicionalmente, resulta necesario señalar que deben considerarse con cautela los resultados del procedimiento de simulación, ya que puede ocultar la existencia de problemas de identificación del modelo (Chiou y Walker, 2007; Walker, Ben-Akiva y Bolduc, 2007; Walker, 2001). En particular, Walker et al. (2007) y Chiou y Walker (2007) muestran que si el número de extracciones de la simulación es pequeño pueden obtenerse parámetros estimados que no están teóricamente determinados o empíricamente determinados por los datos.

Existen numerosos artículos en los cuales se ha estimado el modelo con datos de corte transversal de preferencias declaradas (McFadden y Train, 2000; Brownstone y Train, 1999; Hensher y Greene, 2003; Train y Wilson, 2008; Revelt y Train, 1998 y 1999; Hess y Rose 2009); con datos de corte transversal de preferencias reveladas (Train, 1998; Hess, 2004; Walker, et al., 2004); con ambos tipos de datos en conjunto (Brownstone, et al., 2000; Bhat y Castelar, 2002) y también con datos de panel (Revelt y Train, 1998; Bhat, 2000).

El modelo logit mixto puede estimarse representando diferentes especificaciones de comportamiento y cada una de ellas proporciona una interpretación particular.

Existen tres tipos de especificaciones usualmente utilizadas, el modelo basado en coeficientes aleatorios denominado modelo logit de coeficientes aleatorios, el modelo basado en los componentes del error y la especificación de modelos discretos de datos de panel. A continuación se describen estas tres especificaciones.

- Modelo basado en coeficientes aleatorios (RCL¹⁹), (Train, 2009; Train, 1998; McFadden y Train, 2000, Revelt y Train, 1998).

Denotando como θ a los parámetros que caracterizan a la función de densidad de β y a la función de densidad como f , la probabilidad de elección de la alternativa i es una función de θ :

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta) f(\beta | \theta) d\beta$$

integrando sobre los parámetros β .

Aquí los valores de β pueden interpretarse como representativos de los gustos de los individuos, a partir de las estimaciones de θ y las elecciones realizadas por los individuos. En este caso se habla de “heterogeneidad de las preferencias”.

Considerando el modelo en el cual la utilidad de la persona n derivada de la elección de la alternativa j es:

$$U_{nj}(\beta) = \beta_n' x_{nj} + \varepsilon_{nj}$$

En la cual x_{nj} son variables observadas que se relacionan a la alternativa j y al individuo n , β_n es un vector de coeficientes de estas variables para la persona n y que representa los gustos de esa persona y ε_{nj} es un término de errores que se distribuyen de manera idéntica e independiente con una distribución de valor extremo. Los coeficientes en la población varían entre individuos con densidad $f(\beta)$, que es función de los parámetros θ (media y covarianza de los parámetros β en la población, por ejemplo).

El individuo que realiza la elección, selecciona la alternativa i sí y sólo si $U_{ni} > U_{nj} \quad \forall j \neq i$.

El investigador observa las x_{nj} pero no β_n o los ε_{nj} . Entonces, la probabilidad condicional a β_n sería:

$$L_{ni}(\beta_n) = \frac{e^{\beta_n' x_{ni}}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta_n' x_{nj}}}$$

¹⁹ Del inglés “Random Coefficients Logit”.

Sin embargo, el investigador no conoce β_n y no puede condicionar sobre estos parámetros. Por lo tanto, la probabilidad no condicionada será la integral de $L_{ni}(\beta_n)$ con respecto a todos los posibles valores de β_n , de donde se obtiene la probabilidad del modelo logit mixto:

$$P_{ni} = \int \left(\frac{e^{\beta' x_{ni}}}{\sum_{j=1}^n e^{\beta' x_{nj}}} \right) f(\beta) d\beta$$

El investigador especifica una distribución de probabilidad de los coeficientes y estima los parámetros de esa distribución. Entre las distribuciones más usadas pueden citarse la distribución normal, la distribución uniforme, la distribución triangular y la distribución logarítmica normal (lognormal). Esta última distribución se utiliza cuando se sabe que el coeficiente debe tener el mismo signo para todos los individuos, como es el caso del coeficiente asociado con la variable precio, que debe ser negativo para cualquier individuo según la teoría de la demanda. Por otra parte, las distribuciones uniforme y triangular poseen la propiedad de estar acotadas a ambos lados, evitando así la posibilidad de obtener coeficientes muy grandes para algunos individuos, situación que podría suceder con la distribución normal o la lognormal.

Cabe señalar, que según Cantillo y Ortúzar (2005) las diferencias de gustos pueden representarse y estimarse en este modelo siempre que el comportamiento de elección del individuo sea compensatorio, en el caso de existencia de umbrales de percepción de los individuos en situaciones de elección tanto el modelo logit multinomial como el modelo logit mixto de parámetros aleatorios parecieran no lograr estimar correctamente este comportamiento no compensatorio.

- Modelo de componentes del error (ECL²⁰), que crea correlaciones entre las utilidades de diferentes alternativas (Train, 2009; Greene y Hensher, 2007; Brownstone y Train, 1999).

En este segundo caso, se especifica un modelo de componentes del error que crea correlaciones entre las utilidades de diferentes alternativas. La función de utilidad de la alternativa j para un consumidor n se especifica como:

$$U_{nj} = \alpha' x_{nj} + \mu_n z_{nj} + \varepsilon_{nj}$$

²⁰ Del inglés "Error Components Logit".

en la cual x_{nj} y z_{nj} son vectores de variables observadas relacionadas con la alternativa j , α' es un vector de parámetros fijos (no aleatorios), μ es un vector de términos aleatorios que siguen algún tipo de distribución, generalmente se supone una distribución normal con media cero y matriz de varianza-covarianza generalmente especificada como diagonal, ε_{nj} son errores aleatorios (sobre alternativas y consumidores) que poseen una distribución de valor extremo de tipo I. A partir de la elección apropiada de las variables que componen el error pueden obtenerse diferentes patrones de correlación y sustitución.

La probabilidad de elección de la alternativa i se obtiene por integración sobre la función de distribución de μ_n , siendo:

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta, \mu_n) \cdot \phi(\mu_n / 0, \Sigma) d\mu_n,$$

donde:

$$L_{ni}(\beta, \mu) = \frac{e^{V_{ni}(\beta) + \mu'_n z_i^n}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}(\beta) + \mu'_j z_j^n}}$$

$\phi(\mu_n / 0, \Sigma)$: es la función de densidad supuesta, que por ejemplo, puede ser normal con media cero y matriz de varianza-covarianza Σ .

Un caso particular ocurre cuando se especifica z_{nj} como un vector con valores 0 o 1 que indican qué componente del error entra en la especificación de la función de utilidad de la alternativa j . Si el valor 1 representa la pertenencia de una alternativa a un grupo de alternativas correlacionadas (como ocurre en un nodo del modelo logit jerárquico o anidado), la μ aleatoria entra en la función de utilidad de cada grupo induciendo correlación entre las alternativas pertenecientes al grupo.

En estas primeras dos formulaciones clásicas, RCL y ECL, se estima θ para luego obtener las probabilidades de elección por métodos de simulación realizando un gran número de extracciones²¹ de los parámetros β con la densidad especificada. Las probabilidades simuladas se introducen en la función del logaritmo de verosimilitud, obteniendo un

²¹ Las extracciones pueden ser pseudo-aleatorias o realizarse mediante alguno de los métodos denominados "extracciones inteligentes" como el método de secuencias de Halton (Halton, 1960). Según Train (1999), la aplicación de las secuencias de Halton permite reducir los tiempos de procesamiento en relación al método de extracciones aleatorias.

logaritmo de verosimilitud simulado que al maximizarlo con respecto a θ permite obtener el denominado Estimador Máximo Verosímil Simulado.

Aunque las dos formulaciones son formalmente equivalentes, resulta importante diferenciar el uso y la interpretación que se le da a cada una de ellas. En el modelo RCL, la especificación de parámetros aleatorios y sus funciones de densidad permiten identificar variaciones en los gustos de los consumidores (Revelt y Train, 1998). En cambio, el uso del modelo ECL permite representar diferentes patrones de sustitución y la especificación de variables que pueden inducir correlación entre las alternativas para así mejorar los pronósticos (Brownstone y Train, 1999).

- Modelos discretos de datos de panel

Adicionalmente, a los efectos de esta tesis resulta importante desarrollar una formulación adicional que extiende el modelo al caso de existencia de mediciones repetidas por consumidor, como sería el caso de una muestra de datos de panel en el tiempo o una encuesta de preferencias declaradas en la cual cada consumidor realiza sus elecciones en una serie de escenarios. Este modelo se denomina “modelo logit mixto de datos de panel”. La función de utilidad de la alternativa j en la situación de elección t de la persona n es $U_{njt} = \beta_n x_{njt} + \varepsilon_{njt}$, con ε_{njt} que son independientes e idénticamente distribuidos según una distribución de valor extremo a través del tiempo (o situaciones de elección), las personas o consumidores y las alternativas de elección. Si existe una secuencia de alternativas $\mathbf{i} = \{i_1, i_2, \dots, i_T\}$, la probabilidad, condicionada a β , de que una persona realice una secuencia de elecciones será el producto de funciones logit:

$$L_{n \mathbf{i}}(\beta) = \prod_{t=1}^T \left[\frac{e^{\beta_n x_{n i_t t}}}{\sum_j e^{\beta_n x_{n j t}}} \right]$$

dado que los ε_{njt} son independientes sobre la secuencia de elecciones. La probabilidad no condicionada será la integral de $L_{n \mathbf{i}}(\beta)$ con respecto a β :

$$P_{n \mathbf{i}} = \int_{\beta} L_{n \mathbf{i}}(\beta) \cdot f(\beta) d\beta$$

La probabilidad simulada se obtiene al realizar una extracción de β de su función de distribución, luego se calcula la función de probabilidad asociada a ese valor para cada elección de la secuencia y se multiplican esas probabilidades. Este procedimiento se realiza un gran número de veces y se promedian los resultados.

En este tipo de modelos pueden presentarse algunas limitaciones, como son:

- Efectos dinámicos dados por el hecho de que las elecciones en un momento determinado pueden depender de las elecciones realizadas en el pasado, como son por ejemplo los efectos de hábito o aprendizaje. En el caso de trabajar con una secuencia temporal de situaciones de elección, pueden agregarse en la función de utilidad variables exógenas representativas del pasado o el futuro para representar respuestas rezagadas o efectos de hábito y comportamiento anticipado, respectivamente.
- Correlación serial existente debido a factores no observables que persisten a través del tiempo o de la secuencia de elecciones, en particular todos los factores relacionados al individuo n , a partir de lo cual los ε_{njt} podrán no ser independientes de los $\varepsilon_{nj(t-1)}$. Este tipo de correlación resulta de importancia a los efectos de esta tesis ya que en el caso de trabajar con datos de preferencias declaradas existirán varias respuestas del mismo individuo a diferentes situaciones de elección. Al relajar el supuesto de ε_{njt} independientes a través de t dado que se supone que existen factores no observables relacionados con el individuo²² y que persisten a través de las situaciones de elección t . El modelo puede denominarse “modelo con efectos de panel” y especificarse de la misma manera que el modelo anterior de componentes del error, suponiendo que $\varepsilon_{njt} = \alpha_{nj} + \varepsilon'_{njt}$, donde se supone que los ε'_{njt} son independientes a través de t . Dada esta especificación, pueden aplicarse dos versiones del modelo. La primera versión supone la existencia de un “efecto fijo” en la que los α_{nj} son parámetros fijos desconocidos que deben estimarse. La segunda versión denominada “con efecto aleatorio” supone que los α_{nj} son aleatorios y poseen alguna distribución de probabilidad. Adicionalmente debe puntualizarse que en el modelo de efecto fijo, α_{nj} captura la heterogeneidad inobservable de los gustos y para estimarlo para cada individuo n , uno de ellos debe ser igualado a cero,

²² También denominado efecto agente o heterogeneidad inobservable.

pudiendo estimarse de manera consistente los α_{nj} 's solo si $T \rightarrow \infty$. En la práctica, al trabajar con micropaneles de datos, T es pequeño y el número de parámetros α grande como para poder estimar el modelo con efectos fijos de manera consistente. Esta es una verdadera limitación para la estimación de este modelo. Por otra parte, en el caso del modelo con "efecto aleatorio", los parámetros α_{nj} se distribuyen estadísticamente con una función de densidad $f(\alpha_{nj})$ que habitualmente se supone que es normal, es decir $\alpha_{nj} \sim N(0, \sigma_{panel})$, se obtiene un modelo logit mixto condicionado a α_{nj} en el que además, se supone que los ε'_{njt} son independientes a través de t . Entonces, la probabilidad condicionada a α_{nj} de que una persona realice una secuencia de elecciones será:

$$L_{ni}(\alpha_{nj}) = \prod_{t=1}^T \left[\frac{e^{\beta'_n x_{nit} + \alpha_{ni}}}{\sum_j e^{\beta'_n x_{njt} + \alpha_{nj}}} \right]$$

Y la probabilidad de elección no condicionada será:

$$P_{ni} = \int_{\alpha} L_{ni}(\alpha) \cdot f(\alpha) d\alpha$$

En este modelo los parámetros a estimarse son los β y σ_{panel} (desvío estándar de α_{nj}) y por medio de la estimación utilizando el método de máxima verosimilitud (simulado) se obtienen estimadores consistentes y eficientes. Al ignorar la correlación y suponer que α_{nj} no existe, se obtienen estimadores consistentes pero ineficientes. Por lo tanto, cuando se trabaja con datos de preferencias declaradas habrá que probar la significación del coeficiente estimado para el desvío estándar del error α_{nj} a los fines de contrastar la existencia de heterogeneidad inobservable en la secuencia de elecciones realizada por los encuestados.

5.2.4. Modelos que combinan datos de preferencias reveladas y declaradas

La estimación de modelos de valor extremo generalizado que combinan datos de preferencias reveladas (PR) y preferencias declaradas (PD) se utiliza para mejorar la confiabilidad de los parámetros de los modelos de preferencias reveladas con los datos de

preferencias declaradas²³. Como afirman Dissanayake y Morikawa (2010) en base a Ben-Akiva y Morikawa (1990) y Ortúzar y Willumsen (1994), la diferencia entre los errores de preferencias reveladas (φ) y declaradas (ξ) puede presentarse como una función de las varianzas de cada tipo de error, de la siguiente manera:

$$\sigma_{\varphi}^2 = \mu^2 \cdot \sigma_{\xi}^2$$

donde μ es un coeficiente de escala desconocido que debe estimarse.

En general, los datos de preferencias declaradas poseen mayor ruido aleatorio que los datos de preferencias reveladas y por lo tanto, el coeficiente de escala (μ) es menor a la unidad. Si este no fuera el caso, puede suponerse que los datos de preferencias reveladas poseen mayor ruido aleatorio, pudiendo comprobarse este supuesto reestimando un modelo con la estructura inversa.

Las funciones de utilidad utilizando ambos tipos de datos son:

$$U^{PR} = \beta' \cdot x^{PR} + \gamma' \cdot y^{PR} + \varphi^{PR}$$

$$U^{PD} = \mu \cdot (\beta' \cdot x^{PD} + \lambda' \cdot z^{PD} + \xi^{PD})$$

En las cuales, x es un vector de atributos comunes a ambos tipos de datos, PR y PD; y es un vector de atributos específicos relacionados con las elecciones de preferencias reveladas; z es un vector de atributos específicos relacionados con las elecciones de preferencias declaradas; β' , γ' , λ' son vectores de parámetros desconocidos; φ , ξ son los términos de error (componente inobservable) de las funciones de utilidad de preferencias reveladas y preferencias declaradas respectivamente y μ es un coeficiente de escala.

Las funciones de utilidad anteriores permiten homogeneizar los dos tipos de errores al multiplicar los parámetros de preferencias declaradas por μ , haciendo que el error aleatorio asociado a las preferencias declaradas posea la misma varianza que el error de preferencias reveladas.

El modelo logit multinomial con ambos tipos de datos, suponiendo que ambos tipos de error siguen una distribución Gumbel o de valor extremo tipo I con media cero y diferente varianza, puede expresarse como:

²³ Ben-Akiva, et. al. (1994), desarrollan un marco unificado de análisis para realizar estimaciones con ambos tipos de datos.

$$P_{iq}^{PR} = \frac{e^{(\beta' \cdot x_{iq}^{PR} + \gamma' \cdot y_{iq}^{PR})}}{\sum_{j=1}^n e^{(\beta' \cdot x_{jq}^{PR} + \gamma' \cdot y_{jq}^{PR})}}$$

$$P_{iq}^{PD} = \frac{e^{\mu \cdot (\beta' \cdot x_{iq}^{PD} + \lambda' \cdot z_{iq}^{PD})}}{\sum_{j=1}^n e^{\mu \cdot (\beta' \cdot x_{jq}^{PD} + \lambda' \cdot z_{jq}^{PD})}}$$

El sub-índice “q” se refiere al individuo y los subíndices “i” y “j” se refieren a las alternativas de elección.

Y la función de máxima verosimilitud para estimar los parámetros del modelo es:

$$L(\beta', \mu, \gamma', \lambda') = \left(\prod_{q=1}^{N^{PR}} \prod_{i=1}^n P_{iq}^{PR} \right) \cdot \left(\prod_{q=1}^{N^{PD}} \prod_{i=1}^n P_{iq}^{PD} \right)$$

La estimación de los parámetros puede realizarse mediante dos métodos: estimación secuencial o simultánea (Ortúzar y Willumsen, 1994).

El procedimiento de estimación simultánea, también denominado máxima verosimilitud con información completa²⁴, puede representarse mediante una estructura artificial de árbol de elección que contiene al menos el doble de alternativas de elección de las existentes en la realidad, un subconjunto se refiere a las alternativas de preferencias reveladas y el otro a las alternativas de preferencias declaradas. Las alternativas de preferencias reveladas dependen directamente de la raíz del árbol de decisión, mientras que las alternativas de preferencias declaradas se incluyen cada una en un nodo de decisión independiente de una estructura de decisión logit anidada con parámetro μ restringido al mismo valor para cada uno de los nodos de preferencias declaradas (ver Figura 3).

Este es el denominado “truco de logit anidado” (nested logit trick, en inglés) propuesto por Bradley y Daly (1991) y Hensher y Bradley (1993), que conforma un árbol de elección en el que las alternativas de PR están debajo del nido principal (raíz) de decisión y las alternativas de preferencias declaradas poseen cada una un nodo ficticio con igual parámetro de escala para todas ellas. Para las observaciones de preferencias declaradas la función de utilidad indirecta promedio de las alternativas del “nido ficticio compuesto” hace uso del concepto de “utilidad máxima esperada” (o valor inclusivo) asociado a los nidos de un modelo logit anidado y define la función de utilidad máxima esperada como:

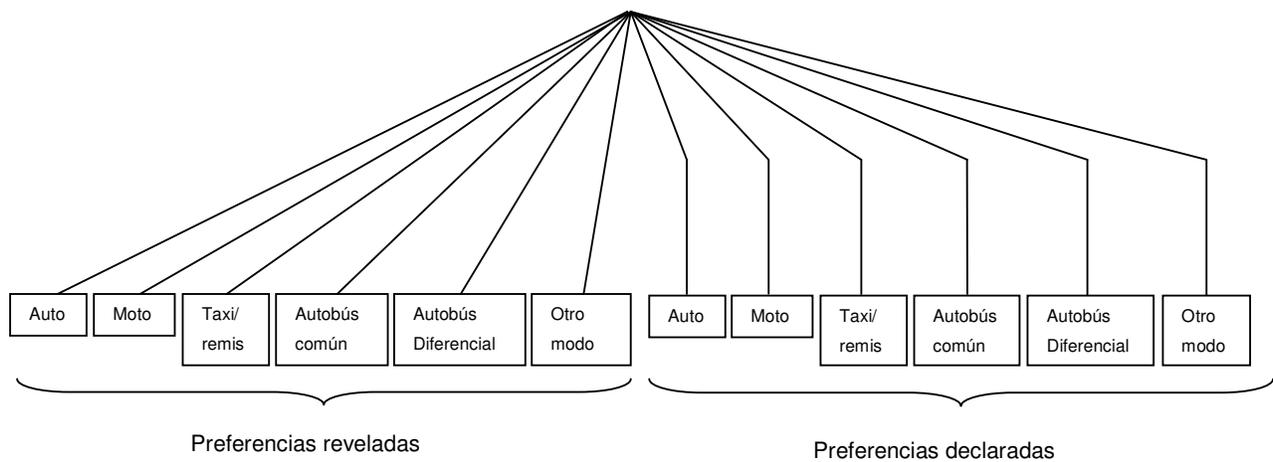
²⁴ Full information maximum likelihood, en inglés.

$$V^{comp} = \mu \log \sum_{j=1}^{J_{PD}} e^{V_{jPD}}$$

En la cual la sumatoria se realiza sobre todas las alternativas en el nido de la alternativa compuesta. Dado que cada nido contiene solo una alternativa de preferencias declaradas, V^{comp} se reduce a μV_{PD} , que corresponde a la expresión para una sola alternativa de preferencias declaradas con cada parámetro incluyendo al componente no observado asociado a la función de utilidad indirecta de cada alternativa multiplicado por el factor de escala μ . En este modelo, no es necesario que este coeficiente de escala asuma algún valor determinado para que se asegure la consistencia del modelo con la maximización de la utilidad dado no se supone que los individuos realicen su elección considerando el conjunto de elección completo de alternativas de preferencias reveladas y declaradas. Aunque se espera que el coeficiente de escala de preferencias declaradas relativo al de preferencias reveladas sea inferior a la unidad, podría también ser superior.

De esta manera, el parámetro de escala de las alternativas de preferencias reveladas es igual a la unidad y el de las alternativas preferencias declaradas deberá estimarse libremente. Esta formulación del modelo anidado se denomina habitualmente “modelo logit anidado no normalizado” (non-normalised nested logit, en inglés).

Figura 3: Diagrama de árbol de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo con datos de preferencias reveladas y declaradas (con nodos ficticios para las alternativas de preferencias declaradas)



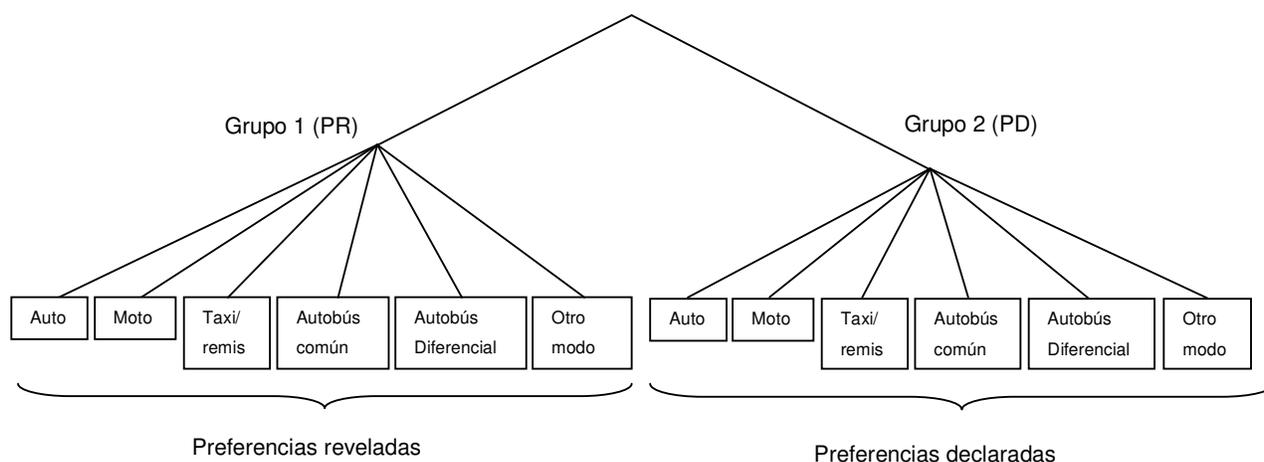
En la Figura 4 se presenta un modelo de elección de modo de transporte considerando la estructura artificial de árbol de decisión anidado de preferencias reveladas y preferencias declaradas considerando a cada conjunto de datos como un “grupo” no solapado, para la

estimación conjunta de un modelo logit multinomial anidado de dos niveles utilizando datos de preferencias reveladas y preferencias declaradas (Louviere et al., 2000).

Cabe señalar, que la estructura de decisión así modelada supone que el proceso generador de datos de ambas fuentes posee una distribución idéntica e independiente de valor extremo generalizado tipo I con diferentes factores de escala, pero con los mismos parámetros promedio de las variables que comparten ambos grupos y donde además existen otros parámetros no compartidos por ambos grupos de datos. Así, cada conjunto de datos puede ser modelado de manera apropiada por un modelo logit multinomial en el cual cada uno poseerá igual varianza pero entre ellos la varianza puede diferir.

En esta forma de modelación, ambos tipos de datos poseen un coeficiente de escala diferente y para la estimación de los parámetros del modelo habrá que prefijar uno de los coeficientes de escala. Lo habitual es prefijar el coeficiente de escala del grupo de preferencias reveladas, igualándolo a la unidad (normalización de los parámetros de escala), con lo cual el parámetro de escala de preferencias declaradas representa una escala relativa con respecto a la escala de preferencias reveladas. De esta manera, las funciones de probabilidad del modelo anidado siguen siendo válidas.

Figura 4: Diagrama de árbol de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo con datos de preferencias reveladas y declaradas considerados como grupos independientes



Esta formulación del modelo anidado se denomina habitualmente “modelo logit maximizador de utilidad” (utility-maximising nested logit, en inglés)²⁵. Estas dos formulaciones del modelo

²⁵ Cabe señalar, que el software Biogeme posee un operador de grupos que permite estimar directamente esta especificación del modelo.

logit anidado con estructuras logit multinomial para las alternativas de preferencias reveladas y declaradas producen resultados equivalentes, según lo demostrado por Wen (2010), que presenta las formulaciones matemáticas de ambos modelos demostrando que resultan equivalentes para el caso en que las alternativas que pertenecen a los nidos de preferencias reveladas y declaradas siguen una estructura logit multinomial²⁶. Sin embargo, estructuras anidadas de elección combinando datos de preferencias reveladas y declaradas cuyas alternativas poseen estructuras logit anidadas, resultan más complejas de estimar y producirán diferentes resultados según el modelo especificado y estimado corresponda a alguna de estas dos alternativas, “modelo logit anidado no normalizado” o “modelo logit maximizador de utilidad”. En muchos de estos casos, las funciones de utilidad, los parámetros de escala (o valor inclusivo) no pueden estimarse directamente y resultará necesario realizar cálculos adicionales para obtener los parámetros correctos.

5.2.5. El modelo de valor extremo generalizado de McFadden

El modelo de valor extremo generalizado (VEG) desarrollado por McFadden (1978), genera una familia de modelos de elección derivados de la maximización de la utilidad aleatoria, que permite verificar la existencia de un patrón de dependencia entre los atributos inobservables de las alternativas de elección y produce una forma funcional cerrada para el cálculo de las probabilidades de elección.

Formalmente, el modelo enuncia que dada $G(y_1, y_2, \dots, y_J)$ para $y_1, y_2, \dots, y_J \geq 0$, con las siguientes propiedades:

1. G es no negativa.
2. G es homogénea de grado $\mu > 0$; es decir,

$$G(\alpha y_1, \alpha y_2, \dots, \alpha y_J) = \alpha^\mu \cdot G(y_1, y_2, \dots, y_J)$$
3. $\lim_{y_i \rightarrow \infty} G(y_1, y_2, \dots, y_J) = \infty$, para $i = 1, 2, \dots, J$.

²⁶ Wen (2010) denomina a este modelo que combina datos de preferencias reveladas y declaradas como modelo mixto de PR/PD logit multinomial (“mixed RP-SP MNL model, en inglés”). A las estructuras de elección logit anidadas con datos de preferencias reveladas y declaradas las denomina “modelo mixto de PR/PD logit anidado” (“mixed RP-SP NL model, en inglés”).

4. La derivada parcial l -ésima de G con respecto a cualquier combinación de l diferentes y_i , $i = 1, 2, \dots, J$, es no negativa si l es impar y no positiva si l es par.

Si bien McFadden supuso que la función G era homogénea de grado uno, luego Ben-Akiva y Francois (1983) demostraron que puede ser homogénea de grado μ .

Adicionalmente, McFadden (1981) agregó una quinta condición que establece que agregar alternativas de elección con utilidades valuadas en cero no afecta el proceso de elección; sin embargo, esta condición no fue considerada en el trabajo original de McFadden (1978) y no es utilizada por otros autores (Ben-Akiva y Lerman, 1985, Train, 2009), con lo cual las cuatro primeras condiciones bastan para definir un modelo de valor extremo generalizado (Hess, 2005).

Si G satisface estas condiciones y simbolizando como $G_i(y_1, y_2, \dots, y_J)$ a $\frac{\partial G}{\partial y_i}$, con

$y_i = e^{V_i}$, para la alternativa $i = 1, 2, \dots, J$ y el individuo q , se tiene:

$$P_q(i) = \frac{e^{V_{iq}} G_i(e^{V_{1q}}, e^{V_{2q}}, \dots, e^{V_{Jq}})}{\mu G(e^{V_{1q}}, e^{V_{2q}}, \dots, e^{V_{Jq}})}$$

Define el modelo de valor extremo generalizado. Esta ecuación define el modelo de elección probabilístico y es consistente con la maximización de la utilidad aleatoria²⁷.

El modelo logit multinomial es el modelo básico derivado del modelo de valor extremo generalizado, considerando que la función generadora es: $G(y_1, y_2, \dots, y_J) = \sum_{i=1}^J y_i$. En el

modelo LMN los errores se distribuyen de manera idéntica e independiente siguiendo una distribución de valor extremo. En el modelo general de valor extremo generalizado los términos de error siguen una distribución conjunta de valor extremo generalizado, los errores individuales siguen una distribución de valor extremo univariante y los términos de error asociados a alternativas de elección que pertenecen al mismo nodo están correlacionados.

Por otra parte, el modelo logit anidado o jerárquico también puede derivarse de una función generadora de valor extremo generalizado y ha sido el modelo más utilizado de la familia de modelos de valor extremo generalizado (Train, 2009). Como ya se ha apuntado, el modelo

²⁷ McFadden (1978) muestra esta consistencia del modelo con respecto a la maximización de la utilidad aleatoria. Otro desarrollo similar, aunque más didáctico, se encuentra en Ben-Akiva y Lerman (1985), cap. 10.

logit anidado o jerárquico puede aplicarse cuando el conjunto de alternativas de elección que enfrenta el individuo puede dividirse en subconjuntos, llamados nodos. Considerando el modelo de utilidad aleatoria planteado anteriormente, en el cual $U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj}$ es la utilidad de la alternativa j para el individuo n ; V_{nj} es observada por el investigador y ε_{nj} es una variable aleatoria cuyo valor no es observado por el investigador. Considerando el modelo logit anidado con dos niveles y suponiendo que el vector de utilidad no observada $\varepsilon_n = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$ posee una distribución de probabilidad acumulada de VEG que es:

$$G(e^{V_1}, \dots, e^{V_J}) = \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i \in D_m} e^{\mu_\ell V_i} \right)^{\frac{\mu_u}{\mu_\ell}}$$

en la cual el conjunto de alternativas $(1, \dots, J)$ está dividido en M subconjuntos no superpuestos D_m , $m=1, \dots, M$, μ_u es el parámetro de escala del nivel más alto y μ_ℓ es el parámetro de escala del nivel más bajo. Y además, las condiciones de cambio de signo de las derivadas parciales de la función generadora de VEG siempre se satisfacen si: $\mu_\ell \geq \mu_u \geq 0$. Sustituyendo esta última función G en la fórmula original del modelo VEG, se obtiene:

$$P_n(j) = \frac{e^{\mu_\ell V_i}}{\sum_{i \in D_m} e^{\mu_\ell V_i}} \cdot \frac{\left(\sum_{i \in D_m} e^{\mu_\ell V_i} \right)^{\frac{\mu_u}{\mu_\ell}}}{\sum_{m=1}^M \left(\sum_{i \in D_m} e^{\mu_\ell V_i} \right)^{\frac{\mu_u}{\mu_\ell}}}$$

que corresponde a la probabilidad de elección de la alternativa i -ésima que pertenece al nodo D_m .

5.2.6. Cálculo de valoraciones subjetivas

A partir de las estimaciones a realizar con los modelos de elección discreta presentados, pueden calcularse por ejemplo la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje y espera de los usuarios para realizar viajes al trabajo.

Una manera de establecer la importancia relativa de los atributos en una estimación de demanda de elección discreta es calcular la valoración de un atributo en términos de otro atributo utilizado como numerario, tal como el precio o costo de la alternativa. Se trata de una tasa marginal de sustitución (*TMgS*), expresada como:

$$TMgS_{km} = \frac{\partial X_{mj}}{\partial X_{kj}} = \frac{\partial P_j / \partial X_{kj}}{\partial P_j / \partial X_{mj}}$$

donde

$\partial P_j / \partial X_{kj}$ indica el cambio en la probabilidad de elección de la alternativa j ante un cambio en una unidad en el atributo k , X_k .

$\partial P_j / \partial X_{mj}$ indica el cambio en la probabilidad de elección de la alternativa j ante un cambio en una unidad en el atributo m , X_m .

X_{mj} : es la variable precio de la alternativa j y X_{kj} es el atributo k de interés, por ejemplo, el tiempo de viaje de la alternativa j . Con estas dos variables específicas consideradas, la *TMgS* presentada es el valor monetario de los ahorros de tiempo de viaje. En este caso se trata de variables continuas, aunque el razonamiento puede extenderse a variables discretas. La expresión anterior está basada en la probabilidad de elección de una alternativa como la función de respuesta. Otras posibilidades de función de respuesta son: las cuotas de mercado estimadas y la función indirecta de utilidad.

Como afirma Jara Díaz (2000), en los modelos desagregados de elección discreta utilizados para estimar la demanda de transporte, la utilidad de una alternativa usualmente se representa por medio de una combinación lineal de costo, características de la alternativa y variables socioeconómicas de diferentes grupos de individuos. Es decir, en los modelos de elección de modo de transporte, la utilidad de una alternativa usualmente se especifica en forma lineal como:

$$V_i = \alpha + \beta c_i + \gamma t_i + \dots$$

en la cual c_i y t_i son el costo de viaje y el tiempo de viaje de la alternativa i , respectivamente. A partir de la estimación de esta función de utilidad puede obtenerse el monto de dinero que el individuo está dispuesto a pagar para reducir el tiempo de viaje en una unidad. Este valor subjetivo de los ahorros de tiempo de viaje (*VSATV*) se calcula como:

$$VSATV = \frac{\partial U_i / \partial t_i}{\partial U_i / \partial c_i} = \frac{\gamma}{\beta}$$

y que es la tasa de sustitución entre tiempo y costo para un nivel de utilidad constante. Entonces, si la función de utilidad estimada es lineal en las variables y los parámetros y ninguna variable interactúa con alguna otra variable, la *TM_{gS}* estimada será simplemente la razón de los parámetros estimados de las variables consideradas. Es decir, el valor de los ahorros de tiempo de viaje se obtiene como el cociente entre el parámetro estimado asociado a la variable “tiempo de viaje” y el parámetro estimado asociado a la variable “costo de viaje (o tarifa)”. El valor de los ahorros de tiempo de espera se obtiene como el cociente entre el parámetro estimado asociado a la variable “tiempo de espera” y el parámetro estimado de la variable “costo de viaje”. En el caso de incluir la variable explicativa “cuadras caminadas en origen o destino”, el valor subjetivo de la distancia de acceso a la parada de transporte público se obtiene como el cociente entre el parámetro estimado asociado a la variable “cuadras caminadas en origen o destino” y el parámetro estimado de la variable “costo de viaje”.

En el presente estudio se obtendrá la valoración de los ahorros de tiempo de viaje, de los ahorros de tiempo de espera y la valoración de la distancia de caminata (medida en cuadras) hasta la parada para acceder al transporte público o desde la parada para llegar al trabajo caminando.

Siguiendo a Louviere et al. (2000), puede afirmarse que el valor de los ahorros de tiempo de viaje es el beneficio de los usuarios más importante en la evaluación social de proyectos de transporte. La valuación de los ahorros de tiempo de viaje es compleja y sujeta a controversias, dada la diversidad de circunstancias en las que puede ahorrarse tiempo de viaje. Además, el valor de los ahorros de tiempo de viaje puede ser en sí mismo una función del tamaño de los ahorros de tiempo y del tiempo total empleado en una actividad. Los métodos de estimación de preferencias declaradas se han utilizado de manera creciente para investigar las valoraciones empíricas de los ahorros de tiempo de viaje, así como las valoraciones de tiempo de espera o de tiempos de acceso o caminatas para acceder al sistema de transporte público. El creciente uso de los métodos de preferencias declaradas, en contraposición con los métodos de preferencias reveladas, se basa en la posibilidad de presentar a los entrevistados una mayor variación en los tiempos de viaje ahorrados, las distancias de viaje y los precios o costos de viaje.

También se han desarrollado estudios en los que existe una “función de valoración de los ahorros de tiempo” en contraposición a la estimación de un valor único (Hensher y Truong, 1984; Bradley y Gunn, 1990; Louviere et al., 2000), cuando el costo interactúa con alguna

otra variable como por ejemplo el ingreso o cuando se utilizan transformaciones funcionales del tiempo o el costo (Koppelman y Bhat, 2006). Los métodos de preferencias declaradas han permitido realizar estimaciones de estas funciones de valoración de los ahorros de tiempo en relación a niveles de tiempo de viaje, costo de viaje, ingreso y otras características que ejercen influencia en la variabilidad de la valoración. En esta tesis sólo se presentarán los resultados de estimaciones puntuales de estas valoraciones de tiempos de viaje, espera y la valoración de las cuadras caminadas en origen y/o destino para utilizar autobús y autobús diferencial, esperando que estas estimaciones sean la base de futuras investigaciones con mayor nivel de complejidad en la medición de estas valoraciones.

5.3. Marco de referencia metodológico sobre estimación de modelos de tenencia de vehículo particular

Diferentes enfoques desagregados han sido desarrollados para modelar la tenencia de automóviles y la estimación y pronóstico de su uso, pero pocos estudios han incorporado explícitamente modelos de tenencia de motocicletas considerando directamente los niveles de servicio de los modos de transporte como variables explicativas, o han estimado conjuntamente modelos de comportamiento relacionados con la tenencia de automóviles y elección de modo. La importancia de este tipo de estudio al considerar la simultaneidad de las decisiones de tenencia de vehículo en el hogar y la elección de modo de transporte por parte de los trabajadores ha sido destacada por Ben-Akiva y Lerman (1974), Train (1980), y más recientemente por Srinivasan y Walker (2009) como una forma de interrelacionar estas decisiones de modo de "formular y analizar políticas destinadas a lograr la sostenibilidad en términos de capacidad de transporte, consumo de combustible y efectos sobre el ambiente".

Ben-Akiva y Lerman (1974) presentaron uno de los primeros estudios modelando en forma conjunta la tenencia de automóvil y la elección de modo de viaje al trabajo, utilizando un modelo logit multinomial y datos de preferencias reveladas, estimando la probabilidad conjunta del hogar de seleccionar un nivel de tenencia de automóvil y un modo determinados para que el sostén de la familia asista al trabajo, con un conjunto de alternativas que consiste en el producto cruzado de todos los modos y los posibles niveles de propiedad de automóviles, utilizando como variables explicativas representativas de los niveles de servicio los tiempos de viaje al trabajo (dentro y fuera del vehículo). En este sentido, esta investigación pretende incorporar un conjunto de variables de nivel de servicio en un marco de preferencias declaradas, ya que el uso del enfoque de preferencias reveladas podría encubrir problemas de agregación de datos y pequeña variabilidad en las variables de nivel de servicio de los modos de transporte. Además, a diferencia de estudios anteriores, considera explícitamente las preferencias por tenencia de motocicleta, vehículo que ha experimentado altas tasas de venta en la ciudad de Córdoba.

Por otra parte, existen otras investigaciones relacionadas a la elección de modo de transporte y la tenencia de vehículo privado con incorporación de niveles de servicio de modos de transporte público y privado como variables explicativas. Algunos modelos de tenencia de automóviles relacionados de alguna manera con el objeto de investigación de este estudio fueron analizados por De Jong et al. (2004), quienes presentan una revisión descriptiva y una comparación de los modelos de tenencia de vehículo privado en Holanda, en la literatura internacional y de los utilizados en la práctica. Siguiendo su análisis y el de otros autores, a continuación se presenta una reseña de los modelos que tratan de estimar y pronosticar la tenencia de vehículos en el hogar y su uso, reconociendo que solo existe un

pequeño número de experiencias donde se ha tratado de realizar la estimación conjunta de tenencia y uso de vehículo particular.

- Modelos agregados de series temporales: con funciones del tipo sigmoidales para pronosticar el número de vehículos privados a través del tiempo (como una función del ingreso o del producto bruto nacional - PBN), que aumentan lentamente al comienzo (a niveles bajos de PBN per cápita), luego aumentan rápidamente y finalmente disminuyen su tasa de crecimiento para acercarse a un nivel de saturación. Se los puede caracterizar como modelos de demanda a nivel agregado, dinámicos y que permiten realizar pronósticos de corto, medio y largo plazo (asintóticos al nivel de saturación de la demanda determinado). No posee una base teórica sólida. No estiman ni pronostican el uso del automóvil. Los requerimientos de datos son ínfimos. En general, en los estudios realizados, no se ha incluido un tratamiento especial para los vehículos de empresas aunque es posible incluirlo. No consideran distintos tipos de automóviles. Consideran el impacto del ingreso sobre la tenencia de automóviles. En algunos estudios se han considerado los costos fijos y variables de automóviles. La inclusión de algunas características socio-demográficas es limitada. No consideran los impactos de la calidad de los automóviles ni la tenencia de licencia de conducir. Las variables explicativas actitudinales son difíciles de incluir en estos modelos. Los costos de desguace no se incluyen.
- Modelos agregados de cohorte: estos modelos segmentan la población actual en grupos con el mismo año de nacimiento (a menudo cohortes de 5 años), y luego pronostican estas cohortes hacia el futuro, describiendo de qué manera las cohortes a medida que envejecen, adquieren, mantienen y venden los vehículos privados (automóviles). Una de las mayores razones que fundamentan el sustancial crecimiento esperado de la tenencia de automóviles se basa en las características demográficas, denominado “efecto cohorte”. Se los puede caracterizar como modelos de demanda a nivel agregado, dinámicos y que permiten realizar pronósticos de medio y largo plazo. No poseen una base teórica sólida. No estiman ni pronostican el uso del automóvil. Los requerimientos de datos son ínfimos. En general, en los estudios realizados, no se ha incluido un tratamiento especial para los vehículos de empresas aunque es posible incluirlo. No consideran distintos tipos de automóviles. Consideran el impacto del ingreso sobre la tenencia de automóviles. No consideran los costos fijos y variables de automóviles. Consideran la tenencia de licencia de conducir y características socio-demográficas. No consideran los impactos de la calidad de los automóviles. Las variables explicativas actitudinales pueden incluirse como específicas de cada cohorte. Los costos de desecho al retirar a los vehículos del mercado no se incluyen.

- Modelos agregados del mercado de automóviles: estos modelos distinguen la demanda y la oferta en el mercado de automóviles. El modelo más reciente de este tipo se denomina TREMOVE²⁸ y describe los flujos de transporte, el stock de vehículos y el uso de vehículos en tres áreas por país: una ciudad principal, otras áreas urbanas y otras áreas no urbanas. Se los puede caracterizar como modelos agregados de demanda y oferta de vehículos usados con mecanismos de equilibrio, dinámicos y que permiten realizar pronósticos de corto, medio y largo plazo. Se basan en la teoría económica de equilibrio del mercado. No estiman ni pronostican el uso del automóvil (aunque algunos modelos, como el TREMOVE, pronostican flujos de transporte anuales, lo que supondría una forma de pronóstico de uso de vehículos). Los requerimientos de datos son ínfimos. En general, en los estudios realizados, no se ha incluido un tratamiento especial para los vehículos de empresas aunque es posible incluirlo. Consideran un número limitado de tipos de automóviles. Consideran explícitamente el impacto del ingreso sobre la tenencia de automóviles, los costos fijos y costos variables de automóviles, la tenencia de licencia de conducir y un número limitado de características socioeconómicas. No consideran los impactos de la calidad de los automóviles. Las variables explicativas actitudinales son difíciles de incluir en estos modelos. Pueden incluirse los costos de desguace al retirar los vehículos del mercado.
- Métodos de simulación heurísticos: suponen la existencia de estabilidad de los gastos familiares en transporte (como una fracción del ingreso neto familiar) a través del tiempo. El modelo holandés FACTS, se utiliza para pronosticar uso de energía, emisiones y para obtener el número total de automóviles para un año futuro. Se los puede caracterizar como modelos desagregados de demanda y oferta de vehículos usados con mecanismos de equilibrio, estáticos y que permiten realizar pronósticos de medio y largo plazo. Poseen supuestos básicos muy fuertes que pueden no estar en un todo de acuerdo con la teoría económica. No estiman ni pronostican el uso del automóvil. Los requerimientos de datos son moderados. Usualmente se ha incluido un tratamiento especial para los vehículos de empresas. Consideran un número limitado de tipos de automóviles. Consideran explícitamente el impacto del ingreso sobre la tenencia de automóviles, los costos fijos y variables de automóviles y características socioeconómicas. Los impactos de la calidad de los automóviles pueden incluirse. No consideran la tenencia de licencia de conducir. Las variables explicativas actitudinales

²⁸ TREMOVE es un modelo diseñado para analizar los efectos sobre costos y emisiones de un amplio rango de medidas técnicas y no técnicas en la Unión Europea, con el objeto de reducir las emisiones derivadas del transporte carretero.

son difíciles de incluir en estos modelos. Los costos de desguace al retirar a los vehículos del mercado pueden incluirse.

- Modelos desagregados estáticos de tenencia de automóvil: a esta categoría pertenecen los modelos de elección discreta que modelan la cantidad de automóviles que posee el hogar. Los modelos de este tipo sólo analizan la demanda del mercado de automóviles, habiendo numerosas y antiguas publicaciones sobre modelos estáticos y pseudo-dinámicos de tenencia de vehículo privado. Dentro del modelo general del sistema nacional Holandés existe un submodelo de tenencia de vehículo privado, se trata de un modelo de tenencia de automóvil que opera al nivel de los hogares. Las elecciones del hogar sobre tenencia de automóvil están condicionadas a la tenencia de licencia de conducir (que también está explicada usando modelos desagregados) y considerando que: hogares sin licencias no tendrán automóvil y hogares con una licencia pueden elegir entre no poseer automóvil o poseer un automóvil; hogares con dos o más licencias pueden elegir entre poseer uno o dos automóviles. Estas elecciones se modelan como modelos logit binarios, estimados a partir de datos desagregados de la encuesta nacional de movilidad holandesa. Estos modelos se basan en la teoría de la utilidad aleatoria y pueden interpretarse dentro de este marco de comportamiento. Una importante variable explicativa en los dos primeros modelos (no poseer automóvil y poseer un automóvil) es el ingreso mensual que un hogar puede gastar libremente; restando los gastos mensuales en alimentos, vestido y vivienda. Si el hogar decide adquirir un automóvil, entonces incurrirá en un costo fijo. Por lo tanto, si los ingresos mensuales aumentan, la probabilidad de adquirir un automóvil también aumentará, mientras que si los costos fijos de adquisición de un automóvil aumentan, la probabilidad de tenencia de automóvil disminuirá. Otras variables explicativas son: la edad, el género, el tamaño del hogar, el número de trabajadores en el hogar y variables específicas de cada región.

Se debe prestar especial atención a Train (1980), quien estimó un modelo secuencial integrando la elección de modo de transporte del trabajador con la elección observada en el hogar de tenencia de automóviles, usando datos de preferencias reveladas a partir de una muestra de trabajadores del área de la Bahía de San Francisco en 1975. Esta estimación estructurada le permitió ajustar un modelo que considera funciones de utilidad para los niveles conjuntos de tenencia de automóviles y de modo de transporte elegido para viajar al trabajo, compuesto por una parte que sólo depende de los atributos del nivel de tenencia de automóvil, otra parte observada que depende tanto de los atributos del nivel de tenencia de automóviles como del modo de transporte elegido, y un componente no observado. Es importante señalar que este enfoque ha considerado

explícitamente la interacción entre las decisiones y variables explicativas específicas en cada modelo de decisión, que incluyen variables de nivel de servicio de los modos de transporte y características socio-demográficas.

Los modelos pertenecientes a esta clase (Bhat y Pulugurta, 1998) pueden clasificarse en modelos de respuesta ordenada y no ordenada. Los modelos de respuesta ordenada no son consistentes con la maximización global de la utilidad, basándose en la hipótesis que una variable continua representa la propensión del hogar a la tenencia de automóvil. El método de estimación econométrica empleado es el logit de respuesta ordenada. Por otra parte, los modelos de elección no ordenados son consistentes con la teoría de la maximización global de la utilidad. El método de estimación econométrica empleado generalmente es el logit multinomial.

Algunos estudios aplican estos modelos estáticos desagregados de tenencia especificando modelos de elección discreta de la cantidad de automóviles que posee un hogar, utilizan datos de preferencias reveladas y consideran como variables explicativas las características socio-económicas, ubicación residencial, tipo de residencia y algunas variables relacionadas con la política de transporte como son los costos de estacionamiento y los costos variables de uso de automóvil (Bhat y Pulugurta, 1998; Bhat, Sen y Eluru, 2009; Whelan, 2001, 2007).

Dentro de este tipo de modelos también se han realizado estudios que incorporan la tenencia de vehículos por parte de las empresas. Por ejemplo, el modelo estratégico de transporte de Sydney (Hague Consulting Group, 2000), determinó que la mejor forma de modelar de manera conjunta la tenencia de vehículos por parte de los hogares y de las empresas es la modelación de la tenencia de automóvil por parte de los hogares condicionada a la tenencia de automóvil por parte de las empresas, es decir, los hogares deciden el número de automóviles a poseer dependiendo de la posesión de los automóviles por parte de las empresas. Las variables explicativas utilizadas para estimar la tenencia de vehículos particulares son: el logaritmo del ingreso neto familiar, el número de personas en el hogar con licencia de conducir, costo de estacionamiento de los vehículos, edad y género del jefe del hogar y variables que representan la facilidad de acceso con automóvil a los lugares de trabajo.

A este grupo de modelos se los puede caracterizar como modelos desagregados estáticos de tenencia de vehículos que permiten realizar pronósticos a largo plazo. Pueden basarse en la teoría de la utilidad aleatoria. Algunos modelos de este tipo incluyen la estimación del uso del automóvil. Los requerimientos de datos son moderados. Se ha incluido un tratamiento especial para los vehículos de empresas en

las últimas estimaciones realizadas en la literatura. Consideran un número muy limitado de tipos de automóviles. Consideran explícitamente el impacto del ingreso sobre la tenencia de automóviles, los costos fijos y variables de automóviles y características socioeconómicas. Los impactos de la calidad de los automóviles por lo general no se incluyen. Pueden considerar la tenencia de licencia de conducir como variable explicativa. Las variables explicativas actitudinales pueden incluirse si en la base de datos proveniente de encuestas se incluyen preguntas específicas. Los costos de desecho al retirar a los vehículos del mercado no se incluyen.

- Modelo indirecto de utilidad para tenencia y uso de automóviles (modelo discreto-continuo): este modelo explica la tenencia de vehículo por parte de los hogares y su uso en un marco microeconómico integrado (Train 1986; Hensher et al., 1992 citado por De Jong 2004; De Jong 1990). La idea fundamental de este modelo es que las decisiones de los hogares con respecto a la tenencia y uso de automóvil están altamente interrelacionadas. Este modelo, está basado en la teoría micro-económica y en la relación existente entre las funciones indirectas de utilidad para diferentes estados de tenencia de vehículo privado y las funciones de demanda para uso de automóvil utilizando la identidad de Roy. Como resultado, la relación entre la tenencia de automóvil y el uso del mismo se incluye en el modelo de una manera consistente con la teoría microeconómica. La idea básica es que los hogares comparan diferentes combinaciones de tenencia y uso de automóvil y eligen la combinación que les otorga la mayor utilidad. El modelo utiliza como variables explicativas los costos fijos y variables, además del ingreso, tamaño del hogar, edad, género y ocupación del jefe de hogar por ejemplo. Los costos fijos y variables influyen tanto en la tenencia como en el uso del automóvil.
- Modelos estáticos desagregados de elección de tipo de vehículo. Estos modelos consideran la elección del tipo de vehículo que realiza el hogar, dada la tenencia de vehículo. Los modelos de Hensher et al. (1992) y Train (1986) discutidos en el punto anterior, incorporan tanto la decisión del número de vehículos y su uso como la elección del tipo de vehículo. Los modelos de elección de tipo de vehículo se utilizan para pronosticar el tamaño y la composición de la flota de vehículos (y posiblemente también el uso de los mismos y las emisiones).

En especial, en el modelo descrito por Page, Whelan y Daly (2000) para estimar nuevas compras de vehículos, se utilizan tanto datos de preferencias reveladas como de preferencias declaradas. Los datos de preferencias reveladas provienen de la Encuesta Nacional de Viajes del Reino Unido y se relacionan con las características socioeconómicas de los hogares y los atributos de la flota de vehículos que posee el hogar. Las entrevistas de preferencias declaradas recopilan información de los hogares

que estuvieran planeando adquirir un automóvil o acaban de adquirirlo. Los atributos incluidos en las encuestas son: precios de compra, costos de operación, valor de reventa, tamaño del motor, emisiones del vehículo, medidas de seguridad, tipo de combustible utilizado y economía en el uso del combustible. Los datos de preferencias reveladas y declaradas se combinan para formar dos modelos anidados basados en hogares. El primer modelo predice la elección binaria entre automóvil particular o corporativo, incluyendo además variables como: número de hijos en el hogar, una variable dummy para el jefe de hogar varón, la edad del jefe del hogar, el logaritmo del impuesto a la tenencia de vehículo, el logaritmo del costo de posesión del vehículo y una constante específica de la alternativa. El segundo modelo desarrolla una elección multimodal entre diferentes tipos de vehículos, considerando distintas especificaciones de modelos para los automóviles privados y corporativos. El sistema modelado se implementó usando un modelo logit incremental, que predice las proporciones de los diferentes tipos de vehículos nuevos entre el año 2000 y el año 2031.

Según Train (1980), tanto los modelos de elección de las familias acerca de cuántos automóviles poseer (llamados modelos de elección de tenencia de automóvil) y la elección de modo de transporte por parte de los trabajadores (llamados modelos de elección de modo de viaje al trabajo) intentan proveer información sobre los efectos de varias políticas. **Resulta de vital importancia considerar la simultaneidad de estas decisiones e incluir un importante número de variables explicativas de manera que los modelos estimados sirvan al diseño de políticas.** En relación a este último punto y en el contexto de los modelos desagregados de preferencias reveladas, por ejemplo, en la mayoría de los modelos de elección de modo de transporte el tiempo de viaje fuera del vehículo (que incluye caminata y espera del transporte público) se incorpora como variable dependiente pero sin desagregar entre sus componentes. La variable independiente “costo anual de tenencia de un automóvil” depende del tipo y año del vehículo. Para especificar correctamente el costo de un automóvil se requiere, sin embargo, del desarrollo de un modelo conjunto del número de autos en posesión, el tipo y año del vehículo (Train, 1980).

- Modelos estáticos desagregados de preferencia por tenencia de vehículo privado. Se trata de estudios recientes que incorporan datos de preferencias declaradas e intentan mostrar las preferencias por la tenencia de vehículo cambiando niveles de atributos de los modos de transporte incluso más allá de los niveles existentes al momento de realización de los estudios. Kumar y Rao (2006) aplicaron un modelo de escala de calificación discreta que indica la preferencia de elección con las respuestas de los individuos a diferentes opciones de tenencia de vehículo privado para viajes al trabajo y

recreativos. El estudio se aplicó al área geográfica del Gran Mumbai, la capital económica de India, con una población de 17,7 millones de habitantes en 2001. El diseño experimental consideró como atributos a los ingresos proyectados del hogar, el pago de préstamo para adquirir automóvil y el costo variable de uso del automóvil. También consideró variables relacionadas a los viajes realizados en sí mismos: el tiempo de viaje, gastos de viaje, nivel de incomodidad, el tiempo de espera y el número de trasbordos. Otras variables socioeconómicas consideradas en la estimación fueron los ingresos familiares, el tamaño de la familia, tipo de tenencia de vivienda, superficie construida y el número de titulares de licencias de conducir en el hogar. Los resultados mostraron que la tenencia de automóviles se explica por un índice de precios de los automóviles calculado con el costo total del automóvil utilizado en el experimento de elección de preferencias declaradas y sus costos de mantenimiento, el ingreso familiar, tamaño de la familia y la tipología de tenencia de vivienda.

Por otra parte, Dissanayake y Morikawa (2010) han estimado un modelo logit anidado integrando las decisiones de tenencia de automóvil y elección de modo de transporte de los hogares, considerando un modelo que combina datos de preferencias declaradas y reveladas. El modelo se aplicó a la región metropolitana de Bangkok. El estudio reconoce la interrelación existente entre la tenencia de vehículo particular, elección de modo de transporte y decisiones de uso de auto compartido, realizando dos estimaciones de un modelo logit multinomial anidado basado en las decisiones de viaje utilizando datos de preferencias reveladas por una parte y de un modelo logit multinomial anidado enriquecido con datos de preferencias declaradas sobre elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo. La estimación econométrica se realizó utilizando el método de estimación simultánea de máxima verosimilitud. Los resultados permitieron confirmar que la combinación de ambas fuentes de datos (PR/PD) es una técnica efectiva para investigar la complejidad de los comportamientos de viaje y para pronosticar la demanda de futuros servicios de transporte. Los autores aún no han presentado resultados relacionados con pronósticos a partir de los modelos estimados.

- Modelos de ecuaciones estructurales. Esta aproximación metodológica es la que presentan Van Acker y Witlox (2010), quienes proponen un modelo de ecuaciones estructurales para identificar la relación entre la tenencia de automóvil en el hogar y la estructura urbana, en relación al uso del automóvil en los hogares. Sus resultados sugieren que "como políticas de planificación urbana pueden implementarse medidas de aumento de la densidad y la diversidad urbanas con el objeto de desalentar la posesión de automóvil... y para influir en el comportamiento de viaje en automóvil". En este sentido, sería válido considerar las medidas de densidad y diversidad en conjunto en

modelos de elección conjunta de tenencia y uso de vehículo particular como el que aquí se presentan. Sin embargo, nuestro principal objetivo en esta etapa de investigación se relaciona con la estimación de la relación entre la preferencia por la tenencia de automóvil o motocicleta y los niveles de servicio de los modos de transporte. Este modelo es capaz de mejorar la capacidad de pronóstico asociada con las políticas de transporte directamente relacionadas con los atributos que caracterizan a los modos de transporte, como por ejemplo, mejoras en el tiempo de viaje del transporte público mediante la implementación de carriles exclusivos para autobuses, cambios en las tarifas de autobús y de taxi o en las tarifas de estacionamiento, entre otros.

5.4. Marco de referencia metodológico econométrico para la estimación conjunta de modelos de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte

Para especificar y estimar de manera conjunta la elección de modo de transporte y la elección de tenencia de vehículo particular, pueden utilizarse modelos de elección multidimensionales, en los cuales cada dimensión del modelo hace referencia a una decisión de elección. Así, por ejemplo, la decisión de elección de modo de transporte para viajar al trabajo y la decisión de tenencia de vehículo particular a los fines de utilizarlo para viajar al trabajo pueden modelarse de manera conjunta en este marco de referencia.

Siguiendo a Ben-Akiva y Lerman (1985), que exponen estos modelos multidimensionales basados en la especificación de modelos de valor extremo generalizado, en esta sección se presentarán haciendo referencia explícita a las dos decisiones expuestas, elección de modo de transporte y elección de tenencia de vehículo particular, esta última considerando independientemente a la elección de tenencia de automóvil y motocicleta. Cabe señalar, que esta distinción entre la elección de tenencia de automóvil y motocicleta resulta novedosa a nivel internacional, habiendo pocos estudios publicados con esta característica, los artículos de Dissanayake y Morikawa (2010); Sanko, Dissanayake y Kurauchi (2009) y Tuan y Shimizu (2005) son algunos ejemplos que se encuentran en la literatura especializada y que analizan y modelan la tenencia de motocicletas en ciudades asiáticas.

En primer término resulta imprescindible especificar el conjunto de elección que enfrenta el individuo. Considerando dos conjuntos de elección \mathcal{O} y \mathcal{M} ; el primero compuesto por cuatro alternativas o categorías de tenencia de vehículo particular (\mathcal{o}_1 : Con automóvil y motocicleta disponible; \mathcal{o}_2 : sin automóvil y con motocicleta disponible; \mathcal{o}_3 : sin motocicleta y con automóvil disponible; \mathcal{o}_4 : sin automóvil y sin motocicleta disponible); el segundo conjunto de elección relacionado a la decisión de modo de viaje está compuesto por seis alternativas elementales (m_1 : automóvil particular; m_2 : motocicleta; m_3 : taxi; m_4 : autobús; m_5 : autobús diferencial y m_6 : otro modo de transporte).

Si se considera la disponibilidad existente de modo de transporte; podrían darse las siguientes combinaciones de tenencia y modo de transporte:

\mathcal{o}_1 podría combinarse con los modos de transporte: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial y otro modo.

\mathbf{a}_2 podría combinarse con los modos de transporte: motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial y otro modo.

\mathbf{a}_3 podría combinarse con los modos de transporte: automóvil, taxi, autobús, autobús diferencial y otro modo.

\mathbf{a}_4 podría combinarse con los modos de transporte: taxi, autobús, autobús diferencial y otro modo.

El conjunto de elección formado por el producto cartesiano de $\mathcal{O} \times \mathcal{M}$ contendrá $i \times j$ elementos y será también un conjunto de elección.

Definiendo a: \mathcal{C}_n^* como el conjunto de todos los elementos del producto cartesiano que no están disponibles para el individuo n y a \mathcal{C}_n como el conjunto de elección multidimensional para el individuo n .

Si $\mathcal{O} = \{ \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \mathbf{a}_4 \}$; $\mathcal{M} = \{ m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6 \}$; entonces:

$$\mathcal{C}_n = \mathcal{M} \times \mathcal{O} = \{ (m_1, \mathbf{a}_1), (m_2, \mathbf{a}_1), (m_3, \mathbf{a}_1), (m_4, \mathbf{a}_1), (m_5, \mathbf{a}_1), (m_6, \mathbf{a}_1), (m_2, \mathbf{a}_2), (m_3, \mathbf{a}_2), (m_4, \mathbf{a}_2), (m_5, \mathbf{a}_2), (m_6, \mathbf{a}_2), (m_1, \mathbf{a}_3), (m_3, \mathbf{a}_3), (m_4, \mathbf{a}_3), (m_5, \mathbf{a}_3), (m_6, \mathbf{a}_3), (m_3, \mathbf{a}_4), (m_4, \mathbf{a}_4), (m_5, \mathbf{a}_4), (m_6, \mathbf{a}_4) \}$$

$$\mathcal{C}_n^* = \{ (m_1, \mathbf{a}_2), (m_2, \mathbf{a}_3), (m_1, \mathbf{a}_4), (m_2, \mathbf{a}_4) \}$$

A los fines de considerar las preferencias por tenencia de vehículo particular, podrían combinarse las seis alternativas modales existentes con cada una de las categorías de tenencia de vehículo particular, esto supondría por ejemplo, que el automóvil está disponible potencialmente como alternativa de viaje para una persona que no posee automóvil, por lo tanto, aunque este modo de transporte no forma parte de su conjunto de elección actual, el individuo puede estar dispuesto a comprar el vehículo en el corto plazo para usarlo habitualmente para viajar al trabajo. En este caso, el conjunto \mathcal{C}_n^* de todos los elementos del producto cartesiano que no están disponibles para el individuo n , sería un conjunto vacío y el conjunto de elección multidimensional para el individuo n , que puede denominarse como \mathcal{C}'_n , quedaría conformado por veinticuatro alternativas conjuntas:

$$\mathcal{C}'_n = \mathcal{M} \times \mathcal{O} = \{ (m_1, \mathbf{o}_1), (m_2, \mathbf{o}_1), (m_3, \mathbf{o}_1), (m_4, \mathbf{o}_1), (m_5, \mathbf{o}_1), (m_6, \mathbf{o}_1), (m_1, \mathbf{o}_2), (m_2, \mathbf{o}_2), (m_3, \mathbf{o}_2), (m_4, \mathbf{o}_2), (m_5, \mathbf{o}_2), (m_6, \mathbf{o}_2), (m_1, \mathbf{o}_3), (m_2, \mathbf{o}_3), (m_3, \mathbf{o}_3), (m_4, \mathbf{o}_3), (m_5, \mathbf{o}_3), (m_6, \mathbf{o}_3), (m_1, \mathbf{o}_4), (m_2, \mathbf{o}_4), (m_3, \mathbf{o}_4), (m_4, \mathbf{o}_4), (m_5, \mathbf{o}_4), (m_6, \mathbf{o}_4) \}$$

Como afirman Ben-Akiva y Lerman (1985), la definición del conjunto de elección debe realizarse cuidadosamente, dado que pueden existir relaciones entre elementos del conjunto de elección multidimensional y esto es lo que hace interesante el análisis de situaciones de elección de este tipo porque implican que: algunos de los atributos observados de los elementos pertenecientes al conjunto de elección pueden ser iguales para subconjuntos de alternativas y algunos de los atributos no observados de los elementos pertenecientes al conjunto de elección también pueden ser iguales para subconjuntos de alternativas.

5.4.1. Modelo logit multinomial multidimensional

Considerando las dos decisiones: tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte para viajar al trabajo y suponiendo que el conjunto de elección multidimensional \mathcal{C}'_n está compuesto por combinaciones de tenencia y modo de transporte y que los modos de transporte comparten elementos observados comunes, la función de utilidad de una alternativa conjunta será:

$$U_{m \mathbf{o}} = V_m + V_{\mathbf{o}} + V_{m \mathbf{o}} + \varepsilon_{m \mathbf{o}} ; \forall (m, \mathbf{o}) \in \mathcal{C}'_n$$

En la que:

V_m : es la utilidad sistemática común a todos los elementos de \mathcal{C}'_n que usan el modo m .

$V_{\mathbf{o}}$: es el componente sistemático de la utilidad que es común a todos los elementos de \mathcal{C}'_n correspondientes a la misma categoría de tenencia de vehículo particular.

$V_{m \mathbf{o}}$: es el componente sistemático de la utilidad que es específico de la combinación (m, \mathbf{o}) .

$\varepsilon_{m \mathbf{o}}$: es el componente de error aleatorio.

La distribución probabilística de los errores aleatorios $\varepsilon_{m \mathbf{o}}$ entre alternativas y entre la población definirá las probabilidades de elección.

Considerando que los errores $\varepsilon_{m \mathbf{o}}$ siguen una distribución Gumbel (o de valor extremo generalizado tipo I) con parámetro de escala $\mu = 1$ y que se distribuyen de manera idéntica

e independiente, puede expresarse el modelo logit multinomial multidimensional (o logit conjunto) como:

$$P_n(m, a) = \frac{e^{V_m + V_a + V_m a}}{\sum_{(m', a') \in \mathcal{C}_n} e^{V_{m'} + V_{a'} + V_{m' a'}}$$

En la cual, la separación en partes de la función de utilidad permite derivar las probabilidades condicionales y marginales de manera sencilla. Así, puede reescribirse $P_n(m, a)$ como el producto de dos probabilidades:

$$P_n(m, a) = P_n(m | a) \cdot P_n(a)$$

o también como:

$$P_n(m, a) = P_n(a | m) \cdot P_n(m)$$

Denotando como \mathcal{M}_n al conjunto de elección marginal de la elección de modo de transporte y como \mathcal{O}_n al conjunto de elección marginal de la elección de tenencia de vehículo particular, \mathcal{M}_n será el conjunto de todos los modos de transporte que aparecen al menos en un elemento de \mathcal{C}_n y \mathcal{O}_n será el conjunto de todas las categorías de tenencia que aparecen en al menos un elemento de \mathcal{C}_n .

También pueden definirse los conjuntos de elección condicionales, a saber:

$\mathcal{M}_n a$: conjunto de elección condicional de modo de transporte, que es un subconjunto de modos en \mathcal{M}_n que están disponibles para la persona n si esa persona pertenece a la categoría de tenencia a .

$\mathcal{O}_n m$: conjunto de elección condicional de tenencia de vehículo particular, definido como el subconjunto de categorías de tenencia en \mathcal{O}_n que son factibles para la persona n que utiliza el modo m .

En el caso que plantea este estudio y a los fines de estimar las preferencias de elección de tenencia de vehículo particular conjuntamente con el modo de transporte para viajar al trabajo, resultan de importancia las siguientes probabilidades conjuntas: $P(m_1, a_2)$; $P(m_2, a_3)$;

$P(m_1, a_4)$; $P(m_2, a_4)$. $P(m_1, a_2)$ es la probabilidad de elección de automóvil dado que la

persona pertenece a la categoría de tenencia α_2 , y por lo tanto, no posee automóvil. Por lo tanto, esta probabilidad estaría representando las preferencias por compra de automóvil para viajar al trabajo. $P(m_2, \alpha_3)$ es la probabilidad de elección de motocicleta de una persona que pertenece a la categoría de tenencia α_3 , y por lo tanto, no posee motocicleta. Esta probabilidad estaría representando las preferencias por compra de motocicleta para viajar al trabajo.

$P(m_1, \alpha_4)$ es la probabilidad de elección de automóvil de una persona que pertenece a la categoría de tenencia α_4 , y por lo tanto, no posee automóvil.

$P(m_2, \alpha_4)$ es la probabilidad de elección de motocicleta de una persona que pertenece a la categoría de tenencia α_4 , y por lo tanto, no posee automóvil.

Para lograr estimar estas probabilidades habrá que considerar el conjunto de elección que incluye a los modos de transporte potenciales no disponibles, \mathcal{C}_n .

También resultan de interés las probabilidades marginales y condicionales de cada una de las dimensiones de decisión.

Las probabilidades marginales pueden obtenerse de dos maneras:

$$P_n(m) = \sum_{\alpha \in \mathcal{C}_n m} P_n(m, \alpha)$$

$$P_n(\alpha) = \sum_{m \in \mathcal{M}_n \alpha} P_n(m, \alpha)$$

y entonces:

$$P_n(m) = \frac{e^{V_m + V_\alpha + V_{m\alpha}}}{\sum_{(m', \alpha') \in \mathcal{C}_n} e^{V_{m'} + V_{\alpha'} + V_{m'\alpha'}}} = \frac{e^{V_m} \sum_{\alpha \in \mathcal{C}_n m} e^{V_\alpha + V_{m\alpha}}}{\sum_{m' \in \mathcal{M}_n} e^{V_{m'}} \sum_{\alpha' \in \mathcal{C}_n m'} e^{V_{m'\alpha'} + V_{\alpha'}}$$

y definiendo a: $V_m' = \ln \sum_{\alpha \in \mathcal{C}_n m} e^{V_\alpha + V_{m\alpha}}$

$$P_n(m) = \frac{e^{V_m + V'_m}}{\sum_{m' \in \mathcal{M}_n} e^{V_{m'} + V'_{m'}}$$

Entonces, para el modelo logit conjunto la probabilidad marginal de elección de modo de transporte puede expresarse como un modelo logit con un término adicional V'_m en la función de utilidad.

De la misma manera, si se define $V'_a = \ln \sum_{m \in \mathcal{M}_a} e^{V_m + V_{m a}}$

$$\text{Entonces, } P_n(a) = \frac{e^{V_a + V'_a}}{\sum_{a' \in \mathcal{C}_n} e^{V_{a'} + V'_{a'}}$$

V'_m y V'_a representan los componentes sistemáticos de las utilidades máximas de las alternativas en \mathcal{C}_n que se refieren a las dimensiones de decisión m y a , respectivamente.

Por otra parte, considerando la probabilidad de elección marginal de modo de transporte, el modo m será seleccionado o elegido por un individuo sí y sólo sí un elemento del conjunto de elección multidimensional que contiene a m le otorga la mayor utilidad.

Entonces,

$$P_n(m) = \Pr[\max_{a \in \mathcal{C}_{n m}} U_{m a} \geq \max_{a \in \mathcal{C}_{n m'}} U_{m' a}, \forall m' \in \mathcal{M}_n, m' \neq m]$$

en la cual el término

$$\max_{a \in \mathcal{C}_{n m}} U_{m a}$$

es la utilidad de la mejor alternativa en \mathcal{C}_n que contiene al modo m . Es decir, el modo m será elegido si la mejor alternativa multidimensional que contiene a m otorga mayor utilidad que cualquier otra alternativa.

El componente sistemático de la utilidad máxima de un subconjunto de alternativas es el valor inclusivo o utilidad máxima esperada.

En el caso del modelo logit conjunto:

$$\max_{a \in \mathcal{C}_{n m}} (U_{m a}) = \max_{a \in \mathcal{C}_{n m}} (V_m + V_a + V_{m a} + \varepsilon_{m a}) = V_m + \max_{a \in \mathcal{C}_{n m}} (V_a + V_{m a} + \varepsilon_{m a})$$

Dado que los $\varepsilon_{m\alpha}$ se distribuyen de manera idéntica e independiente siguiendo una distribución Gumbel, $\max_{\alpha \in \mathcal{C}_{nm}} (V_\alpha + V_{m\alpha} + \varepsilon_{m\alpha})$ también seguirá la misma distribución de

probabilidad, con parámetro de escala $\eta = \frac{1}{\mu} \ln \sum_{\alpha \in \mathcal{C}_{nm}} e^{(V_\alpha + V_{m\alpha}) \mu}$, y con $\mu = 1$ queda:

$$\eta = \ln \sum_{\alpha \in \mathcal{C}_{nm}} e^{(V_\alpha + V_{m\alpha})} = V'_m$$

Por lo tanto:

$$P_n(m) = \Pr(V_m + V'_m + \varepsilon_m^* \geq V_{m'} + V'_{m'} + \varepsilon_{m'}^*, \forall m' \in \mathcal{M}_n, m' \neq m)$$

Donde los ε_m^* se distribuyen idéntica e independientemente siguiendo una distribución Gumbel y satisfacen los supuestos del modelo logit multinomial.

Por analogía:

$$P_n(\alpha) = \Pr(V_\alpha + V'_\alpha + \varepsilon_\alpha^* \geq V_{\alpha'} + V'_{\alpha'} + \varepsilon_{\alpha'}^*, \forall \alpha' \in \mathcal{C}_n, \alpha' \neq \alpha)$$

Además, V'_α y V'_m representan los componentes sistemáticos de las máximas utilidades de las alternativas en \mathcal{C}_n que se refieren a las categorías de tenencia y a los modos de transporte respectivamente.

Por otra parte, las probabilidades condicionales serán:

$$P_n(m/\alpha) = \frac{P_n(m, \alpha)}{P_n(\alpha)} \text{ y } P_n(\alpha/m) = \frac{P_n(m, \alpha)}{P_n(m)}$$

En el caso del modelo logit conjunto, la probabilidad de que la persona m elija el modo m condicionado por una categoría de tenencia viene dada por:

$$P_n(m/\alpha) = \frac{e^{V_\alpha + V_m + V_{m\alpha}} / \sum_{(m', \alpha') \in \mathcal{C}_n} e^{V_{\alpha'} + V_{m'} + V_{m'\alpha'}}}{e^{V_\alpha + V'_\alpha} / \sum_{\alpha' \in \mathcal{C}_n} e^{V_{\alpha'} + V'_{\alpha'}}} = \left(\frac{e^{V_\alpha} \cdot e^{V_m + V_{m\alpha}}}{\sum_{\alpha' \in \mathcal{C}_n} e^{V_{\alpha'}} \sum_{m' \in \mathcal{M}_{n\alpha}} e^{V_{\alpha'} + V'_{\alpha'}}} \right) \left(\frac{\sum_{\alpha' \in \mathcal{C}_n} e^{V_{\alpha'} + V'_{\alpha'}}}{e^{V_\alpha} \cdot e^{V'_\alpha}} \right)$$

y dado que: $V'_{\alpha'} = \ln \sum_{m' \in \mathcal{M}_{n\alpha}} e^{V_{m'} + V_{m'\alpha'}}$, la probabilidad condicional se simplifica y queda

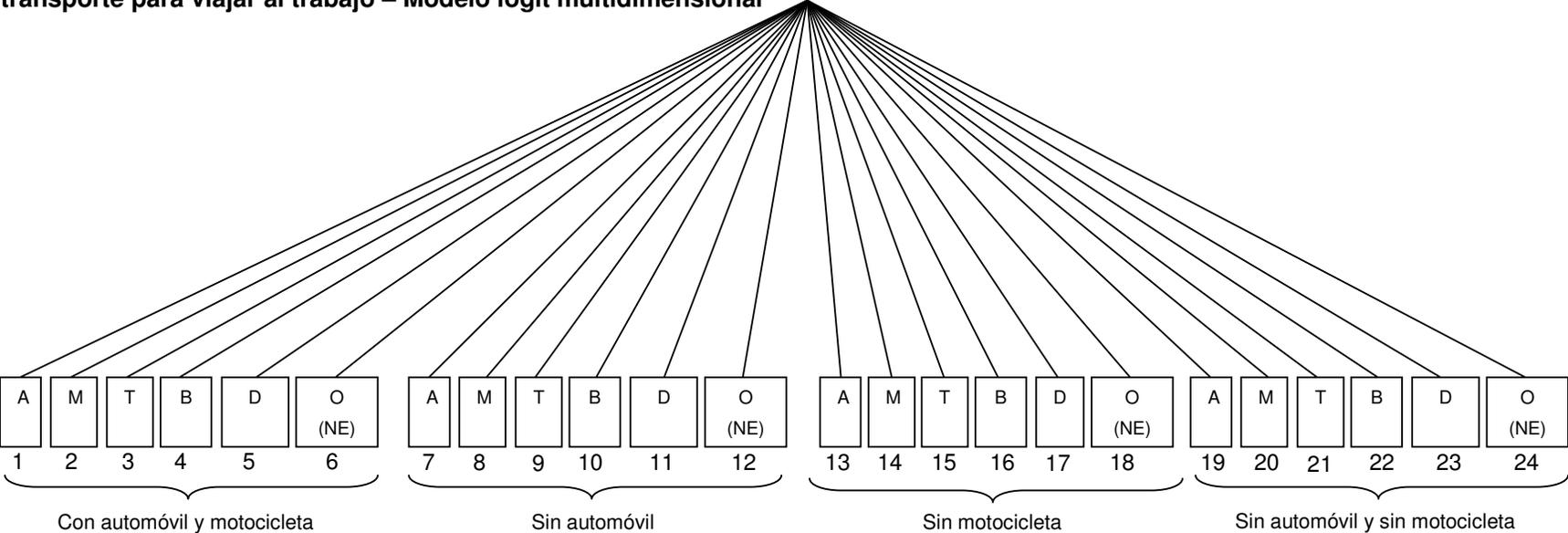
como:

$$P_n(m/a) = \frac{e^{V_m + V_m a}}{e^{V'_a}} = \frac{e^{V_m + V_m a}}{\sum_{m' \in \mathcal{M}_n a} e^{V_{m'} + V_{m'} a}}$$

Por lo tanto, para el modelo logit conjunto, las probabilidades condicionales también vienen dadas por un modelo logit, en el que el componente de la utilidad sistemática atribuible completamente a la elección (dimensión) condicionante se omite y el conjunto de elección está restringido a un subconjunto de alternativas que son factibles dada la elección condicionante.

El diagrama de elección de este modelo logit multidimensional, considerando la existencia de disponibilidad potencial de los modos de transporte privado (automóvil y motocicleta), se presenta en la Figura 5.

Figura 5: Diagrama de árbol para la estimación conjunta de las preferencias por tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo – Modelo logit multidimensional



Nota aclaratoria: A: Auto; M: Motocicleta; T: Taxi; B: Autobús; D: Autobús Diferencial; O (NE): Otro modo (No elección).

5.4.2. Modelo logit anidado multidimensional

En la sección anterior se presentó la función de utilidad utilizada en el modelo logit multinomial multidimensional o logit conjunto, que era:

$$U_{m \ a} = V_m + V_a + V_{m \ a} + \varepsilon_{m \ a} ; \forall (m, a) \in \mathcal{C}_n$$

Relajando el supuesto de existencia de un único componente de error $\varepsilon_{m \ a}$ relacionado con la elección conjunta de dos dimensiones de decisión, y considerando que la función de utilidad es:

$$U_{m \ a} = V_m + V_a + V_{m \ a} + \varepsilon_m + \varepsilon_a + \varepsilon_{m \ a}$$

en la que ε_a : es el componente no observado de la utilidad total atribuible a la categoría de tenencia, que varía sólo entre categorías de tenencia de vehículo.

ε_m : es el componente no observado de la utilidad total atribuible al modo de transporte, que varía sólo entre modos de transporte.

$\varepsilon_{m \ a}$: es el resto del componente no observado de la utilidad total.

Como han demostrado Ben-Akiva y Lerman (1985), cuando existen componentes no observados asociados a diferentes dimensiones de elección, las utilidades de los elementos del conjunto de elección multidimensional correspondiente no pueden ser independientes, violándose uno de los supuestos básicos del modelo logit multinomial multidimensional.

Si alguna de las magnitudes ε_m o ε_a es grande en relación a $\varepsilon_{m \ a}$, se justifica el uso de modelos más complejos como el modelo logit anidado multidimensional. El modelo requiere que alguno de los errores ε_m o ε_a sea de una magnitud suficientemente pequeña de manera que pueda ignorarse.

El modelo logit anidado supone que alguno de los errores ε_m o ε_a tiene varianza igual a cero, y considerando por ejemplo que $\text{var}(\varepsilon_m) = 0$, la función de utilidad queda:

$$U_{m \ a} = V_m + V_a + V_{m \ a} + \varepsilon_a + \varepsilon_{m \ a}$$

En este caso se supone además que ε_a y $\varepsilon_{m \ a}$ son independientes para todo $m \in \mathcal{M}_n$ y para todo $a \in \mathcal{C}_n$, los términos de error $\varepsilon_{m \ a}$ son independientes e idénticamente distribuidos

siguiendo una distribución Gumbel con parámetro de escala μ_m , ε_a se distribuye tal que $\max_{m \in \mathcal{M}_n} U_{m a}$ sigue una distribución Gumbel con parámetro de escala μ_a . En la estimación del modelo, sólo el ratio de parámetros de escala, $\frac{\mu_a}{\mu_m}$, puede identificarse.

Fijando el parámetro de escala $\mu_a = 1$, se establece la escala relativa de la utilidad de manera tal que los errores del modelo logit anidado pueden compararse con las del modelo logit multinomial.

La probabilidad marginal del modelo logit multinomial para la categoría de tenencia a vendrá dada por:

$$P_n(a) = \frac{e^{(V_a + V'_a)\mu_a}}{\sum_{a' \in \mathcal{O}_n} e^{(V_{a'} + V'_{a'})\mu_a}}$$

En la cual: $V'_a = \frac{1}{\mu_m} \ln \sum_{m \in \mathcal{M}_n} e^{(V_m + V_{ma})\mu_m}$

En este caso, la función V'_a del modelo logit multinomial multidimensional está multiplicada por el parámetro $\frac{1}{\mu_m}$, relacionado a los errores $\varepsilon_{m a}$ que se supone que poseen un

parámetro de escala $\mu^m \neq 1$. Además, deberá satisfacerse que $\frac{\mu_a}{\mu_m} \leq 1$.

Si alternativamente se supone que $\text{var}(\varepsilon_a) = 0$, además del esquema de supuestos presentado antes, entonces la probabilidad marginal para el modo m será:

$$P_n(m) = \frac{e^{(V_m + V'_m)\mu_m}}{\sum_{m' \in \mathcal{M}_n} e^{(V_{m'} + V'_{m'})\mu_m}}$$

En la cual: $V'_m = \frac{1}{\mu_a} \ln \sum_{a \in \mathcal{O}_n} e^{(V_a + V_{ma})\mu_a}$

Por otra parte, suponiendo $\text{var}(\varepsilon_m) = 0$ y $\text{var}(\varepsilon_a) > 0$, la probabilidad de que el modo de transporte m sea seleccionado, condicionado a la categoría de tenencia a será²⁹:

$$P_n(m/a) = \frac{e^{(V_m a + V'_m)\mu_m}}{\sum_{m' \in \mathcal{M}_n a} e^{(V_{m'} a + V'_{m'})\mu_m}}$$

Finalmente, la probabilidad de elección del modo de transporte m y la categoría de tenencia a en el modelo logit anidado será:

$$P_n(m, a) = P_n(m/a) \cdot P_n(a) = \frac{e^{(V_m a + V'_m)\mu_m}}{\sum_{m' \in \mathcal{M}_n a} e^{(V_{m'} a + V'_{m'})\mu_m}} \cdot \frac{e^{(V_a + V'_a)\mu_a}}{\sum_{a' \in \mathcal{O}_n} e^{(V_{a'} + V'_{a'})\mu_a}}$$

Y suponiendo que se normaliza el parámetro de escala del nido de tenencia, igualándolo a la unidad, es decir, $\mu_a = 1$, la probabilidad conjunta de la elección del modo m y la categoría de tenencia a queda:

$$P_n(m, a) = P_n(m/a) \cdot P_n(a) = \frac{e^{(V_m a + V'_m)\mu_m}}{\sum_{m' \in \mathcal{M}_n a} e^{(V_{m'} a + V'_{m'})\mu_m}} \cdot \frac{e^{(V_a + V'_a)}}{\sum_{a' \in \mathcal{O}_n} e^{(V_{a'} + V'_{a'})}}$$

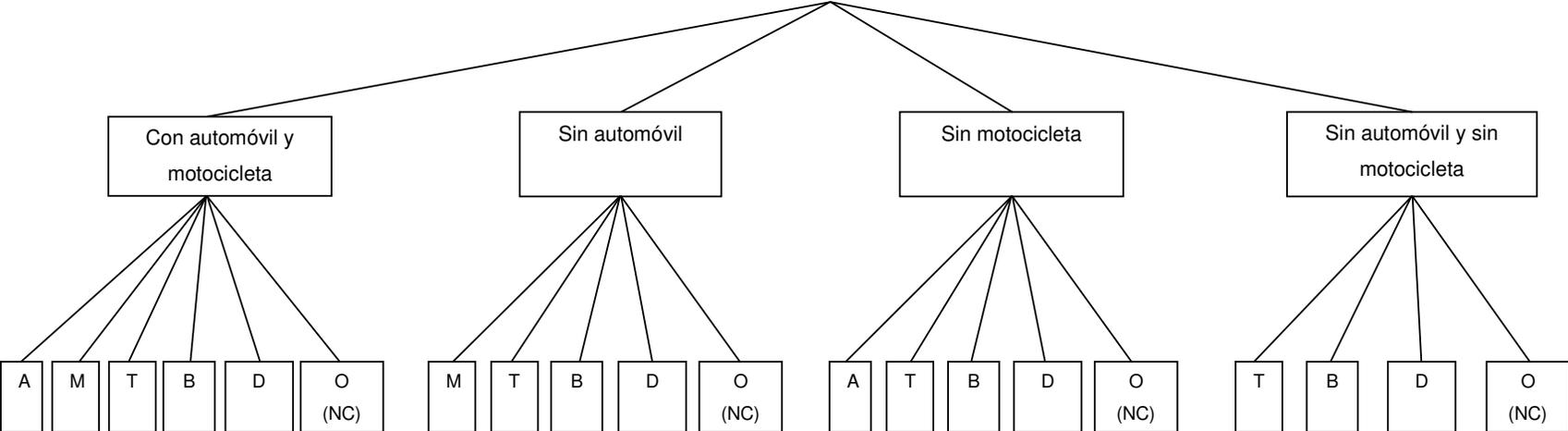
La combinación de estas dos dimensiones de decisión puede ejemplificarse en un diagrama de elección como el de la Figura 6, que considera a la decisión de tenencia de vehículo en el nivel superior y en el nivel inferior a la decisión de modo de transporte. En este caso se supone que las alternativas modales disponibles para el individuo dependen de su nivel de tenencia de vehículo.

²⁹ En el caso en que se suponga que $\text{var}(\varepsilon_a) = 0$ y $\text{var}(\varepsilon_m) > 0$, la probabilidad de que la categoría de tenencia a sea elegida condicionada al modo de transporte m será:

$$P_n(a/m) = \frac{e^{(V_m a + V'_a)\mu_a}}{\sum_{a' \in \mathcal{O}_n m} e^{(V_m a' + V'_{a'})\mu_a}}$$

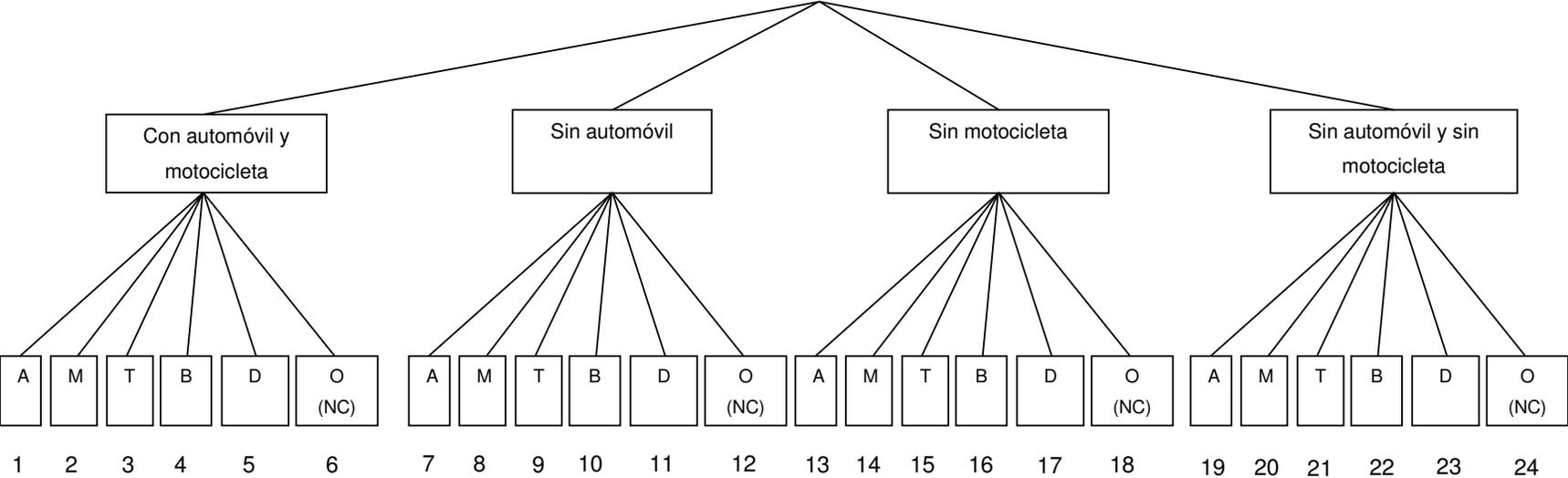
Asimismo, recordando lo expuesto al comienzo de la sección 5.4, podrían combinarse las seis alternativas modales existentes con cada una de las categorías de tenencia de vehículo particular, configurando un conjunto de elección multidimensional en el que todas las alternativas modales están disponibles para cada una de las categorías de tenencia de vehículo particular. En este caso, las alternativas de uso de vehículo particular (automóvil o motocicleta) que se combinan con las alternativas de tenencia de vehículo en las que no existe disponibilidad de los mismos, permite representar y estimar las preferencias por compra de vehículo. Esta situación se presenta en el diagrama de elección de la Figura 7, en la cual se han numerado del 1 al 24 las alternativas de elección conjunta y las probabilidades de elección respectivas pueden denotarse como: $P(\text{auto}, \text{categoría 1}) = P(1,1) = P(1)$, $P(\text{motocicleta}, \text{categoría 1}) = P(2,1) = P(2)$, $P(\text{taxi}, \text{categoría 1}) = P(3,1) = P(3)$, $P(\text{autobús}, \text{categoría 1}) = P(4,1) = P(4)$, $P(\text{autobús diferencial}, \text{categoría 1}) = P(5,1) = P(5)$, $P(\text{otro}, \text{categoría 1}) = P(6,1) = P(6)$, $P(\text{automóvil}, \text{categoría 2}) = P(1,2) = P(7)$, y así sucesivamente, hasta $P(\text{otro}, \text{categoría 4}) = P(6,4) = P(24)$.

Figura 6: Diagrama de árbol de elección para la estimación conjunta de las preferencias por tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo – Modelo logit anidado (con alternativas elementales disponibles en cada nido)



Nota aclaratoria: A: Auto; M: Motocicleta; T: Taxi; B: Autobús; D: Autobús Diferencial; O (NE): Otro modo (No elección).

Figura 7: Diagrama de árbol de elección para la estimación conjunta de tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo – Modelo logit anidado (considerando todas las alternativas elementales en cada nido)



Nota aclaratoria: A: Auto; M: Motocicleta; T: Taxi; B: Autobús; D: Autobús Diferencial; O (NE): Otro modo (No elección).

5.4.3. Modelo de elección de modo de transporte y preferencias por tenencia de vehículo particular con datos de preferencias declaradas

Recordando que el objetivo de este estudio es comprobar la existencia de interrelación entre las decisiones de compra de vehículo particular y elección de modo de transporte para viajar al trabajo, en esta subsección se presenta un análisis metodológico relacionado a la especificación de una variante de los modelos multidimensionales que se utilizará en este estudio para estimar de manera simultánea las preferencias por tenencia de vehículo particular y la elección de modo de transporte, utilizando sólo los datos de preferencias declaradas.

Considerando que el principal objetivo de este estudio es comprobar la existencia de interrelación entre las decisiones de tenencia (y compra) de vehículo particular y elección de modo de transporte para viajar al trabajo, como resultado de cambios en las variables de nivel de servicio de las alternativas modales de elección, tanto de vehículos particulares como de servicios de transporte público urbano masivo.

La representación del diagrama de árbol de elección es similar al de la Figura 7 anterior, donde las alternativas elementales son: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial y otro modo (opción de no elección).

El modelo especificado supone que cada tipo de persona (según categoría de tenencia de vehículo privado) posee todas las alternativas elementales disponibles, al menos potencialmente. Así, por ejemplo: si una persona no posee automóvil disponible en la actualidad podrá estar dispuesto a comprarlo en el futuro cercano (un automóvil nuevo o usado) como respuesta a los niveles de servicio percibidos de los modos de transporte disponibles.

Considerando este modelo que combina la tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte y las cuatro categorías de conjuntos de elección relacionados a la tenencia de vehículo privado, la probabilidad marginal de pertenecer a una categoría de tenencia “ a ” con parámetro de escala genérico de esa categoría es:

$$P_n(a) = \frac{e^{\lambda_a(V'_a)}}{\sum_{a'=1}^4 e^{\lambda_{a'}(V'_{a'})}}$$

con

$a = 1, \dots, 4$ que corresponde a las categorías 1 a 4 de tenencia de vehículo privado.

$$V'_a = \left(\frac{1}{\lambda_m}\right) \cdot \log \sum_{j=1}^6 \exp(\lambda_m V_{j/a})$$

$\lambda_a = 1$; y $j=1$ para automóvil, $j=2$ para motocicleta, $j=3$ para taxi, $j=4$ para autobús, $j=5$ para autobús diferencial y $j=6$ para otro modo de transporte (opción de no elección).

La probabilidad de elección condicional de una alternativa elemental que pertenece a una categoría de tenencia de vehículo privado es:

$$P_n(m/a) = \frac{e^{V_m \cdot \lambda_m}}{\sum_{m'=1}^6 e^{V_{m'} \cdot \lambda_m}}$$

Luego, la probabilidad conjunta de elección de modo "m" y tenencia de vehículo privado "a" viene dada por:

$$P_n(m,a) = \frac{e^{\lambda_a(V'_a)}}{\sum_{a'=1}^4 e^{\lambda_{a'}(V'_{a'})}} \cdot \frac{e^{V_m \cdot \lambda_m}}{\sum_{m'=1}^6 e^{V_{m'} \cdot \lambda_m}}$$

Esta probabilidad corresponde al caso en que se considera un conjunto de elección compuesto por las 24 alternativas elementales, resultado de la combinación de las cuatro categorías de tenencia y los seis modos de transporte.

Cabe recordar, que este modelo especificado permitirá estimar la probabilidad de uso de los modos de transporte existentes y las preferencias por la compra de automóviles y motocicletas, en función de las variables de nivel de servicio de los modos de transporte. Las preferencias por la compra de automóviles y motocicletas vendrá dada por los pronósticos de las probabilidades $P(7)$, $P(14)$, $P(19)$ y $P(20)$.

Para identificar el modelo debe imponerse una restricción, la normalización de uno de los dos factores o parámetros de escala de los niveles del árbol de elección. Aquí se ha normalizado el factor de escala del nivel más alto del árbol de elección, $\lambda_a = 1$.

Además, debe notarse que los parámetros de escala deben satisfacer la condición de $\lambda_a \leq \lambda_m$ ³⁰, para cumplir con la condición de maximización global de la utilidad.

Adicionalmente, utilizando los desarrollos para la modelación con datos de preferencias reveladas y declaradas, puede estimarse un modelo en el que se incorporen como variables explicativas solo las variables de nivel de servicio relevadas a partir de un experimento de preferencias declaradas, sin considerar variables adicionales socioeconómicas explicativas de la tenencia de vehículo particular. Considerando todos los modos de transporte disponibles como alternativas elementales para cada categoría de tenencia de vehículo existirá un conjunto de seis modos de transporte potencialmente disponibles. El conjunto de elección del individuo estará acotado a los seis modos de transporte existentes, dada su disponibilidad de vehículo particular. De esta manera, pueden estimarse las preferencias de compra de vehículo para utilizarlo para viajar al trabajo a medida que cambian las variables independientes que forman parte de las funciones de utilidad de cada uno de los modos de transporte elegidos por el individuo.

Este modelo, en el cual el conjunto de elección del entrevistado está compuesto por las seis alternativas modales elementales, requiere adicionalmente que algún $\lambda_m = 1$ para que el modelo esté identificado. Este modelo es equivalente al modelo que considera a los diferentes nidos de tenencia como “grupos” y que puede estimarse directamente con el software Biogeme. Aquí las probabilidades de elección de modo de transporte para el nido de tenencia *i*-ésimo con parámetro de escala normalizado a la unidad (igualado al valor unitario) vendrá dado por:

$$P_n(m / \sigma_i) = \frac{e^{V_m}}{\sum_{m'=1}^6 e^{V_{m'}}$$

Y para las alternativas modales correspondientes al nido de tenencia *j*-ésimo con parámetro de escala no normalizado (λ_m), vendrá dado por:

$$P_n(m / \sigma_j) = \frac{e^{V_m \cdot \lambda_m}}{\sum_{m'=1}^6 e^{V_{m'} \cdot \lambda_m}}$$

La probabilidad de elección de un modo de transporte determinado será la suma de las probabilidades condicionadas a las diferentes categorías de tenencia de ese modo de transporte. Las preferencias por la compra de automóviles y motocicletas vendrá dada por

³⁰ Hensher et al. (2005).

los pronósticos de las probabilidades $P(7/2)$ que es la probabilidad de elección del modo de transporte 7 (automóvil) dada la categoría de tenencia 2, $P(14/3)$ que es la probabilidad de elección del modo de transporte 14 (motocicleta) dada la categoría de tenencia 3, $P(19/4)$ y $P(20/4)$ que corresponden a las probabilidades de elección de automóvil y motocicleta respectivamente, dada la categoría de tenencia 4.

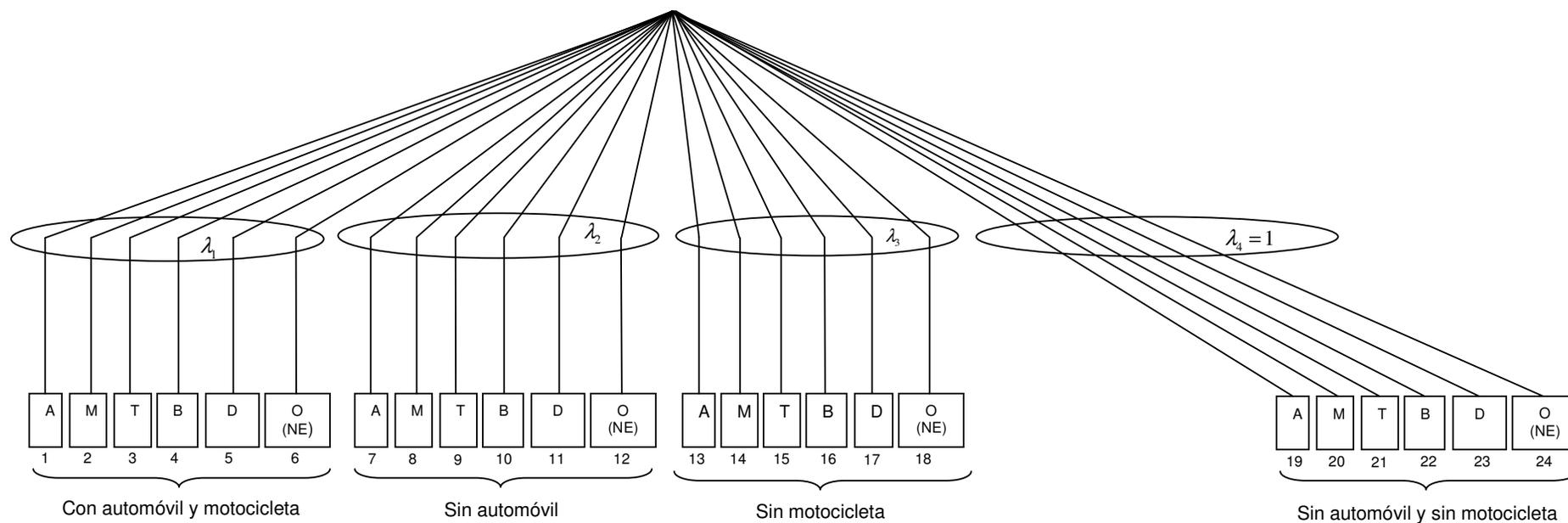
Asimismo, como ha demostrado Wen (2010), dado que el modelo presentado no considera variables explicativas de los nidos de tenencia, resulta equivalente a especificar los nodos de tenencia como nodos ficticios para cada una de las alternativas elementales y con igual parámetro de escala para cada categoría de tenencia. La Figura 8 muestra esta especificación alternativa, que considera seis alternativas elementales y 18 nidos ficticios de tenencia de vehículo privado³¹, con parámetros de escala genéricos para las seis alternativas modales relacionadas a cada una de las categorías de tenencia de vehículo privado.

Por otra parte, si se supone o estima que todos los $\lambda_m = 1$, el modelo logit anidado multidimensional colapsa al modelo logit multinomial multidimensional (ver Figura 5 de la sección 5.4.1.), aunque en este caso no debe olvidarse que el conjunto de elección de cada individuo estará acotado a las alternativas modales incluidas en la categoría de tenencia a la que pertenece.

La especificación de las funciones de utilidad indirecta V_i podrá realizarse considerando parámetros genéricos para las variables independientes comunes a todas las alternativas conjuntas, o especificando las funciones de utilidad referidas directamente a la preferencia por compra de vehículo $V(7)$, $V(14)$, $V(19)$ y $V(20)$ con parámetros diferenciados de los de las demás V_j , que se refieren a alternativas de elección de modo de transporte.

³¹ Ortúzar y Willumsen (1994), presentan este modelo logit anidado con nodos ficticios de preferencias declaradas.

Figura 8: Diagrama de árbol para la estimación conjunta de tenencia de vehículo y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo – Modelo logit anidado con nidos ficticios



Nota aclaratoria: A: Auto; M: Motocicleta; T: Taxi; B: Autobús; D: Autobús Diferencial; O (NE): Otro modo (No elección).

5.5. Marco de referencia metodológico del relevamiento de información para la estimación de demanda a partir de encuestas de preferencias declaradas

Los modelos econométricos de elección discreta a aplicar, basados en la elección, pueden estimarse a partir de encuestas de preferencias reveladas o de preferencias declaradas.³² En las primeras se recopila información real de los viajes de los individuos en un momento determinado del tiempo, como la información recopilada en las encuestas de origen y destino realizadas en los años 1994, 2000 y 2009 en la Ciudad de Córdoba. Estos modelos no poseen error en la medición de la variable de elección ya que se trata de la elección realizada, sin embargo, poseen errores en la medición de las variables explicativas de esa elección debido principalmente a sesgos de agregación y medición de variables de servicio de los distintos modos de transporte.

En cambio, en las encuestas de preferencias declaradas, se releva información sobre la elección hipotética de los consumidores encuestados ante diferentes escenarios en los que existen relaciones de compromiso entre las variables explicativas de la elección. No existe error en la medición de las variables explicativas debido a que están controladas por el diseño experimental utilizado, sin embargo pueden generarse errores en la variable de elección propiamente dicha debido a diferentes sesgos relacionados a la conducta de los entrevistados.³³

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.³⁴

³² Con encuestas de origen-destino por ejemplo, pueden estimarse modelos de elección discreta de preferencias reveladas, mientras que las encuestas basadas en el diseño de experimentos permiten estimar modelos de elección discreta de preferencias declaradas.

³³ Un análisis más detallado de los distintos sesgos que pueden presentarse en las encuestas de preferencias declaradas se encuentra en Sartori (2006b).

³⁴ 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 y Kroes y

Las alternativas de elección presentadas a los encuestados son descripciones de situaciones o contextos construidos por el investigador que se diferencian a través del valor (también denominado nivel) que toman sus atributos.

Las técnicas de encuestas de preferencias declaradas permiten superar una serie de problemas que se presentan en las técnicas de preferencias reveladas, a saber:

- El rango de variación de los atributos (variables explicativas) puede ser extendido al nivel requerido o deseable permitiendo además incorporar factores e incluso opciones, que no estén presentes en el año base de estudio.
- Los efectos de variables de especial interés pueden ser aislados totalmente.
- Pueden incorporarse variables secundarias cuya unidad de medición sea cualitativa.
- Por construcción, no existe error de medición en los datos (variables independientes que revelan la decisión hipotética del consumidor).
- Los métodos de preferencias declaradas son menos costosos y requieren menos tiempo de recolección y análisis de datos que las técnicas de preferencias reveladas. Estas últimas necesitan información adicional a las encuestas (usualmente de origen-destino), como por ejemplo la medición de tiempos y costos de viaje de cada individuo a través de modelos de redes.

Sin embargo, los métodos de preferencias declaradas incluyen determinados sesgos en la variable de elección que habrá que considerar y tratar de minimizar. Los experimentos de preferencias reveladas, sin embargo, poseen la posibilidad de error de medición en las variables independientes, ya que lo que se observa de la realidad es la elección y la valuación de las variables independientes se realiza por medio de la medición indirecta.

Cabe recordar que en esta tesis se propone estimar la demanda de modo de transporte en conjunto con la tenencia de vehículo particular utilizando datos provenientes de una encuesta de preferencias declaradas basada en el diseño de experimentos.

Sheldon, 1988), pero los tres utilizan técnicas de diseño experimental para generar las opciones a ser evaluadas por el encuestado.

5.5.1. Diseño de experimentos de elección

La experiencia internacional en el desarrollo de experimentos de elección de modo de transporte ha evolucionado desde la década de 1980, comenzando por el diseño de encuestas que permitieran estimar modelos logit multinomiales (LMN) con dos o más alternativas de elección y en general, pocos escenarios de elección de modo de transporte para evitar el efecto fatiga del entrevistado (Fowkes y Wardman, 1988; Hensher et al., 1988; Bradley y Daly, 1994). En los primeros desarrollos se diseñaron experimentos ortogonales que implican la no existencia de correlación entre las variables independientes, característica que era juzgada como necesaria para asegurar la bondad del diseño de la encuesta y que implica la no existencia de multicolinealidad en el modelo de demanda estimado a partir de los datos relevados (Bates, 1988; Bunch, Louviere y Anderson, 1996; Fowkes y Wardman, 1988; Rose y Bliemer, 2004). En la administración del cuestionario se utilizaban inicialmente tarjetas en las que se presentaba de manera independiente cada escenario de elección al entrevistado. La aplicación de estos experimentos de preferencias declaradas se realizó inicialmente en ciudades europeas (principalmente del Reino Unido), de Estados Unidos y de Australia³⁵. Actualmente, se ha generalizado el uso de este tipo de diseños en los países desarrollados.

En Argentina no se han publicado estudios sobre este tipo de diseños y estimaciones en el contexto del transporte urbano de pasajeros, excepto las de Sartori (2006b, 2007). Cabe señalar que en la Universidad Nacional de Córdoba, un artículo precursor sobre modelos de demanda de transporte corresponde a Arrufat (1986). En Chile, se han desarrollado numerosos estudios de este tipo, que han colaborado en el diseño de planes de transporte urbano y regional y a la aplicación de las metodologías de análisis costo-beneficio social (Rizzi, L. I. y Ortúzar J. de D., 2003, 2006a, 2006b; Rizzi, L. I., 2005).

Actualmente pueden administrarse encuestas de preferencias declaradas a través de Internet o en entrevistas personales asistidas con computadora portátil, en las cuales quienes participan realizan la elección de cada escenario presentado de manera independiente en la pantalla de la computadora. Asimismo, se está tendiendo a diseñar experimentos de un número amplio de escenarios de elección resultado de la especificación de una demanda con numerosas variables independientes, por ejemplo, con 46 atributos o

³⁵ Algunos artículos que muestran la importancia otorgada al desarrollo del diseño de experimentos de preferencias declaradas con diseños ortogonales y algunas aplicaciones son: Hensher (1994); la edición especial del *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 22, No. 1 de enero de 1988 y la edición especial de la revista *Transportation*, vol. 21, 1994.

variables entre las cuales algunas son genéricas y otras específicas de cada modo de transporte, con 4 niveles cada una y considerando como alternativas de elección todos los modos de transporte público existentes y los proyectados (nuevos trenes urbanos, por ejemplo) junto con los modos de transporte privado. Incluso se diseñan y administran en bloque, presentando una partición del mismo a cada entrevistado; así por ejemplo, un diseño con sesenta escenarios como el utilizado por Rose y Hensher (2004) se administra a seis encuestados que deben elegir en diez escenarios cada uno. Luego se agrupan convenientemente las respuestas para realizar la estimación utilizando modelos LMN o logit mixto con parámetros aleatorios.

El uso de diseños de experimentos de elección se ha generalizado para estimar y pronosticar demanda, permitiendo estimar el impacto de cambios en algunas variables de decisión del consumidor sobre la elección en un ambiente competitivo y principalmente la evaluación del impacto sobre la demanda de cambios en los precios de los bienes o servicios demandados.

Las técnicas de diseño experimental de preferencias declaradas separan los atributos de cada alternativa de elección que enfrenta el individuo en un determinado número de niveles que se definen en forma estadísticamente eficiente y que permiten descomponer la respuesta del experimento en función de ellos. Cada encuestado contribuye en la muestra total con una cantidad de observaciones igual al número de opciones hipotéticas contestadas. Según el tipo de respuesta arrojada por el experimento pueden distinguirse tres categorías principales de diseño experimental: escalamiento (rating), jerarquización (ranking) y elección (choice). En el presente estudio se propone la aplicación de un experimento de elección dado que la elección de modo de viaje al trabajo y de tenencia de vehículo particular para realizar viajes al trabajo, es lo que trata de pronosticarse, además, las respuestas obtenidas son más confiables si el contexto de elección está basado en la realidad, aunque pueden utilizarse en contextos de elección abstracta (por ej., modos de transporte no disponibles al momento de realizar la encuesta) con cierto cuidado.

Cada respuesta revelará información que indica si una alternativa es elegida o no, considerando el conjunto de alternativas existente. Las respuestas a los escenarios de elección conforman finalmente la variable dependiente para la estimación econométrica de demanda.

El proceso de implementación de un experimento de elección se presenta en Hensher, Rose y Greene (2005).

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.

En los experimentos de **elección**, el encuestado simplemente debe escoger la alternativa que considere que refleje su potencial demanda de manera más apropiada, dentro del conjunto disponible de alternativas presentadas. Existen dos posibilidades de aplicación:

- Elección discreta de una opción de un conjunto de alternativas.
- Elección discreta que clasifica un conjunto de opciones en dos grupos del tipo: prefiero esta opción/no prefiero esta opción, considerar/no considerar.³⁶

En esta investigación se opta por la aplicación de la elección discreta de una opción de entre un conjunto de alternativas. En este tipo de encuestas de elección generalmente se utilizan de 9 a 12 situaciones o escenarios de elección, para evitar el efecto fatiga del entrevistado al que se le presentan un número mayor de opciones o tratamientos³⁷.

Considerando las variables independientes o atributos de las alternativas de elección, todo diseño experimental de preferencias declaradas consiste en una serie de variables independientes (los atributos de los modos de transporte en este caso, por ejemplo el costo monetario del viaje, el tiempo de viaje, etc.) que están relacionadas con una variable dependiente (por ejemplo, la elección del modo de transporte para realizar un viaje tipo, a saber: automóvil particular, motocicleta, taxi/remis, autobús común, autobús diferencial). Las variables independientes pueden expresarse en una escala continua (como por ejemplo, el tiempo de viaje o el tiempo de espera) o en una escala discreta (ej., la calidad del servicio).

Cada variable independiente (denominada factor o atributo) se caracteriza por una determinada cantidad de niveles (o valores).

Los distintos tipos de diseño de experimentos que se utilizan para conformar los escenarios de elección a presentar a los encuestados pueden clasificarse en primer término en dos clases, a saber: diseños factoriales completos y diseños factoriales fraccionales.

En los diseños factoriales completos cada nivel de cada atributo se combina con todos los niveles de los demás atributos. Entonces, es la simple enumeración factorial de todas las posibles combinaciones de niveles de los atributos, garantizando que todos los efectos de

³⁶ Un análisis más exhaustivo y ejemplificativo de estas aplicaciones se encuentra en Sartori (2006b).

³⁷ Aunque en los últimos desarrollos se afirma que las encuestas con mayor número de escenarios pueden generar mejoras en las estimaciones de demanda sin generarse los problemas que se advertían en las primeras etapas de aplicación de encuestas de preferencias declaradas (Louviere, et. al. 2000).

interés de los atributos son independientes (ortogonales), por lo que se dice que “los atributos son independientes por diseño”. Por lo tanto, los parámetros a estimar en los modelos de elección especificados podrán estimarse independientemente de los resultados del experimento.

Cabe señalar, que el número de combinaciones posibles (escenarios de elección) en un experimento factorial crece en forma exponencial con el número de atributos considerados.

Por esta última razón es que la elección de diseños factoriales completos que permiten considerar en la modelación todas las posibles interacciones entre atributos requiere construir un gran número de escenarios de elección en la encuesta. Para solucionar este problema, se utilizan *diseños factoriales fraccionales* que desprecian las interacciones de algunos o todos los atributos, suponiendo que algunas interacciones entre atributos tienen una influencia despreciable en la respuesta³⁸. Los diseños factoriales fraccionales son un subconjunto del diseño factorial completo seleccionado sistemáticamente de manera tal que los efectos de interés primordial puedan estimarse, suponiendo que algunas interacciones no son importantes o significativas. En general, los diseños factoriales implican una pérdida de información estadística, requiriendo realizar supuestos sobre la no significatividad de efectos de orden superior, por ejemplo: interacciones entre dos o más atributos.

En general, se argumenta que para modelos lineales³⁹:

- Los efectos principales representan del 70% al 90% de la varianza explicada de la variable dependiente,
- Las interacciones de a pares de atributos representan entre el 5% y el 15%
- Las interacciones de mayor orden representan el porcentaje restante de la varianza explicada.
- Existe un número mínimo de escenarios de elección a presentar en un diseño experimental fraccional que viene dado por el número de parámetros a estimar excluyendo las constantes más uno.

Los diseños fraccionales ortogonales⁴⁰ han sido los más utilizados en las áreas de marketing, transporte y salud, por ejemplo. Estos diseños poseen la propiedad de mantener

³⁸ Cabe señalar, que en la especificación de las funciones de utilidad del modelo a estimar, las interacciones se modelan a través de una especificación multiplicativa de los atributos dentro de la función de utilidad del individuo (comúnmente lineal en los parámetros).

³⁹ Louviere et al. (2000).

⁴⁰ Sartori (2006b) realiza un análisis pormenorizado y aplica diseños fraccionales ortogonales.

la ortogonalidad entre los niveles de los atributos de elección de las alternativas consideradas.

Para generar *diseños fraccionales ortogonales* pueden utilizarse tablas (denominados planes maestros) que muestran el número de situaciones hipotéticas (opciones presentadas al encuestado) requeridas que garanticen la independencia (ortogonalidad) entre las distintas alternativas y permitan estimar algunos efectos directos e interacciones entre atributos. Uno de los primeros y más utilizados planes maestros utilizados es el diseñado por Han y Shapiro (1966). Actualmente se encuentran disponibles en internet otros planes maestros⁴¹ y además, los programas de computación estadísticos ya permiten diseñar experimentos factoriales totales y fraccionales (por ejemplo, SPSS, SAS, Ngene).

En los diseños *factoriales fraccionales ortogonales* no se considera la eficiencia estadística del diseño en relación a los parámetros del modelo de elección a estimar, la característica principal de estos diseños es que al presentar combinaciones de niveles de atributos que son independientes (o no correlacionados), se elimina el problema de la multicolinealidad al estimar económicamente los modelos de elección discreta representativos de la utilidad de los individuos. Cabe señalar, que desde las décadas de 1980 y 1990 se ha venido esgrimiendo que “para la estimación de modelos de utilidad aleatoria basados en experimentos de elección discreta, resulta adecuada la existencia de cierta correlación entre los atributos de las alternativas consideradas” (Fowkes y Wardman, 1988).

Existen otras estrategias para disminuir el número de escenarios de elección además de utilizar diseños factoriales fraccionales ortogonales, que han sido analizadas por Sartori (2006b).

En los últimos años se han desarrollado otro tipo de diseños, a saber:

1. Diseños ortogonales óptimos (basados en Street y Burgess, 2007).
2. Diseños eficientes (D-eficientes o A-eficientes).
3. Diseños bayesianos eficientes (Bliemer, Rose y Hess, 2006).
4. Diseños de probabilidad de elección óptima (Kanninen, B.J., 2002).
5. Diseños eficientes para estimación de un modelo logit multinomial con parámetros aleatorios para datos de corte transversal y datos de panel.
6. Diseños eficientes para estimación de un modelo de componentes del error para datos de corte transversal y datos de panel.

⁴¹ <http://www2.research.att.com/~njas/oadir/>.

7. Diseños eficientes para estimación de un modelo logit multinomial y de componentes del error con parámetros aleatorios para datos de corte transversal y datos de panel.

8. Diseños eficientes promedio de varios modelos diferentes.

A continuación, se realiza una breve reseña de ellos.

Los *diseños ortogonales óptimos* tienen como objetivo mantener la ortogonalidad del diseño dentro de las alternativas, es decir, entre los atributos de cada alternativa y a su vez maximizar las diferencias en los niveles de los atributos entre alternativas, de manera de forzar la existencia de trade-off entre todos los atributos en cada escenario de elección. Este tipo de diseño puede construirse on-line⁴², especificando el número de atributos de elección, el número de niveles de cada atributo y el número de opciones en cada escenario de elección; además, deberá especificarse qué tipo de efectos quieren estimarse (efectos principales, efectos principales más todas las interacciones de dos factores, efectos principales más algunas interacciones de dos factores). Este tipo de diseño se utiliza en estudios donde los atributos de las alternativas son específicos y por este motivo no se emplea en estudios de elección en el sector transporte⁴³.

Los *diseños fraccionales eficientes* que se han desarrollado en los últimos años bajo un paradigma totalmente diferente al de los diseños ortogonales, evidencian la existencia de correlación entre los atributos de las alternativas de elección dado que el criterio de “eficiencia del diseño” radica en la posibilidad de estimar de la manera más eficiente posible el valor de los parámetros del modelo de elección especificado. El requisito de ortogonalidad, sin embargo, puede requerirse por parte del investigador.

Los diseños eficientes producen errores mínimos alrededor de los parámetros a estimar y suponiendo valores previos establecidos para ellos. A partir del trabajo de Huber y Zwerina (1996), se han desarrollado diseños de experimentos estadísticamente más eficientes que los diseños factoriales ortogonales tradicionales. La eficiencia de estos diseños viene dada por la minimización del error de estimación alrededor de los parámetros a estimar y para los cuales se suponen valores específicos a priori, también denominados parámetros previos.

Las medidas de eficiencia de un diseño de elección se derivan a partir del conocimiento de un conjunto de coeficientes previos conocidos (o supuestos) para la función de utilidad indirecta:

⁴² <http://crsu.science.uts.edu.ar/choice/choice.html> .

⁴³ Dado que en estudios relacionados a la elección de modo de transporte por lo general se utilizan atributos genéricos de las alternativas de elección.

$$u_{njs} = \beta_j x'_{njs} + e_{njs}$$

que es la función indirecta de utilidad de la alternativa de elección (modo de transporte) j -ésima, x_{njs} es un vector fila de k características que describe a la alternativa de elección j -ésima, β es un vector de parámetros de las k características y e_{njs} son términos de error aleatorios, independientes e idénticamente distribuidos siguiendo una distribución de valor extremo tipo I.

El subíndice n se refiere al individuo n -ésimo. El subíndice j se refiere a la alternativa de elección j -ésima y el subíndice s se refiere al escenario de elección s -ésimo.

Considerando un experimento típico con S escenarios de elección que puede denotarse por C_s donde $s=1, \dots, S$, donde cada escenario está conformado por un conjunto de alternativas $C_s = \{x_{1s}, x_{2s}, \dots, x_{js}\}$, se puede estimar un modelo logit multinomial como el siguiente:

$$P_{nis} = \frac{e^{\beta x'_{nis}}}{\sum_{j=1}^{J_n} e^{\beta_j x'_{njs}}}$$

que corresponde a la probabilidad de que la alternativa i sea elegida.

Según el cual, dentro de cada escenario de elección C_s , x_{njs} denota la fila j de la matriz X , en la cual x_{njs} es un vector fila de dimensión k asociado a una alternativa, con $s \in C_s$.

Si se supone que cada elección es una elección independiente de una distribución multinomial, entonces el logaritmo de verosimilitud de una muestra dada es:

$$L(\beta / X, y) = \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^J y_{jsn} \ln P_{jsn}(X / \beta),$$

La maximización de la ecuación anterior permite obtener el estimador máximo-verosímil, $\hat{\beta}$, de un modelo de elección basado en un diseño de elección particular.

La distribución de $\hat{\beta}$ será asintóticamente normal con media β y matriz de varianza-covarianza:

$$\Omega_N(\beta / X, y) = -I_N^{-1}(\beta / X, y),$$

donde $I_N(\beta / X, y)$ es la denominada matriz de información de Fisher, que se calcula como:

$$I_N(\beta / X, y) = \frac{\partial^2 L_N(\beta / X, y)}{\partial \beta \partial \beta'} \quad (\text{matriz hessiana de derivadas segundas del logaritmo de la función de verosimilitud con respecto a los parámetros a estimar})$$

La derivación analítica de esta matriz será diferente de acuerdo a las características de las alternativas de elección (genéricas o específicas) y según el modelo econométrico que se pretenda estimar. McFadden (1974) derivó analíticamente la matriz de información de Fisher para el caso de atributos genéricos de un modelo logit multinomial, Rose y Bliemer (2004) la utilizaron para comparar la eficiencia de diferentes modelos⁴⁴. Bliemer y Rose (2005a) derivaron analíticamente la matriz de información de Fisher para experimentos de elección con alternativas específicas de un modelo logit multinomial. Rose y Bliemer (2005a) derivan analíticamente la matriz de información de Fisher para experimentos de elección con alternativas genéricas y específicas de un modelo logit multinomial. Bliemer, Rose y Hensher (2009) derivan analíticamente la matriz de información de Fisher para la aplicación de un modelo logit anidado, generan experimentos de elección para el modelo logit anidado y lo comparan y contrastan con los diseños generados suponiendo un modelo logit multinomial, encontrando que la eficiencia del diseño experimental se maximiza cuando el modelo supuesto en la generación del diseño es el mismo modelo que finalmente se estima. Bliemer y Rose (2008) analizan el diseño de experimentos para modelos logit mixtos (o de parámetros aleatorios) de corte transversal y para datos de panel, derivando la matriz de Fisher pertinente.

El objetivo del diseño de experimentos es definir un grupo de escenarios de elección, dados ciertos valores previos de los parámetros β que deberán estimarse luego, en una segunda etapa, de manera que se minimice el “tamaño” de la matriz Ω .

Una medida de error para comparar diseños de elección y elegir el más eficiente es el denominado *error - A*, denominado “*A - error*” en inglés.

$$A - error = \frac{tr(\Omega_1)}{K},$$

donde $\Omega_1 = 1/N \cdot \Omega_N = (X'PX)^{-1}$ en el modelo logit multinomial.

⁴⁴ Sartori (2006a) utilizó este criterio para diseñar un experimento de elección especificando un modelo logit en diferencias de dos alternativas con atributos genéricos, para la estimación de la elección de modo de viaje para asistir al trabajo o por estudio.

La medida de error más utilizada para comparar entre diseños de elección y poder decidir cuál es el mejor (más eficiente) es:

$$D - error = (\det \Omega_1)^{\frac{1}{k}},$$

donde k es el número de parámetros a estimar.

Cabe señalar, que cuanto menor sea la medida del error (*A-error* o *D-error*), más eficiente será el diseño de elección.⁴⁵

Esta medida del error suele presentarse en dos versiones, a saber (Huber y Zwerina, 1996):

Los diseños denominados D_0 -eficientes minimizan los errores de predicción de un modelo de utilidad aleatoria lineal en los parámetros y que supone que ante la inexistencia de información previa, los parámetros a estimar se suponen iguales a cero. Es un estimador de utilidad-neutro del error.

Los diseños denominados D_p -eficientes son aquellos que minimizan los errores de predicción de un modelo de utilidad aleatoria lineal en los parámetros y que supone valores previos para los parámetros β a estimar. Estos “valores previos” de los parámetros se obtienen de encuestas piloto o de estudios anteriores, por ejemplo. Huber y Zwerina (1996) lo estiman a partir de un diseño con codificación de efectos y con probabilidad centrada (es decir, en desvíos de las probabilidades promedio de cada escenario de elección), aunque los desarrollos de Rose y Bliemer (2004) y Rose y Hensher (2004) utilizan la información relacionada a los niveles de los atributos considerados en el experimento de elección, tal cual ha sido enunciada en las fórmulas precedentes. A este respecto, debe señalarse que las razones de D -errores son invariantes bajo diferentes codificaciones de la matriz de diseño de elección (X).

Se han desarrollado cuatro principios de eficiencia de los diseños de elección (Huber y Zwerina, 1996), a saber:

- Ortogonalidad: se satisface cuando los niveles de cada atributo varían independientemente de otro atributo.
- Balance (o equiparación) de niveles: se satisface cuando los niveles de cada atributo aparecen con igual frecuencia en la matriz de diseño del experimento de elección.

⁴⁵ Para un análisis ampliado de las diferentes medidas, se recomienda ver Bunch, Louviere y Anderson (1996).

- Mínima superposición de niveles: se satisface cuando las alternativas dentro de cada escenario de elección no poseen niveles de atributos que se superponen.
- Equiparación (o balance) de utilidades: se satisface cuando las utilidades de las alternativas dentro de los escenarios de elección son las mismas, es decir, el diseño será más eficiente a medida que las probabilidades esperadas dentro de un escenario de elección en el cual existen J alternativas se acerque lo más posible a $1/J$. Cuando la probabilidad de elección de cada alternativa sea igual a $1/J$ se asegura que no existirá dominancia de una alternativa con respecto a las demás.

Mejorando cualquiera de estos principios a partir de un diseño específico, manteniendo los demás constantes, mejora la eficiencia del diseño. Sin embargo, para la mayor parte de combinaciones de: atributos, niveles, alternativas y vector de parámetros previos β asumidos, es prácticamente imposible crear un diseño que satisfaga todos los principios. Como es habitual en la práctica actual, el método que se utilizará en este estudio construirá un diseño de experimento de elección de modo de transporte sin considerar explícitamente estos principios y sólo se basará en el cálculo del D -error, partiendo de un diseño inicial, calculando el D -error y recalculándolo de manera iterativa a medida que se van proponiendo cambios en el diseño del experimento, para finalmente seleccionar el experimento que arroje el menor D -error.

Por otra parte, los *diseños bayesianos eficientes* (Bliemer et al., 2006), suponen una distribución aleatoria de los parámetros previos. Es decir, se trata de la misma metodología que se emplea en el diseño de experimentos eficientes, con la única diferencia de que en este caso se supone una distribución aleatoria de los parámetros previos y se obtiene el diseño y la medida de eficiencia (D -error por ejemplo) generando valores aleatorios de los parámetros previos según la distribución de probabilidad especificada para ellos. Dado que los parámetros previos son parámetros aleatorios, las medidas de eficiencia también serán aleatorias, por lo tanto medirán la eficiencia esperada. Así, por ejemplo, utilizando el criterio de eficiencia- D y suponiendo que los parámetros a estimar siguen una distribución normal con media μ y varianza σ^2 el error D bayesiano es:

$$D\text{-error bayesiano} = \int_{\beta} \det(\Omega(\beta/X))^{1/K} f(\beta | \mu, \sigma^2) d\beta$$

donde:

f : es la función de densidad normal.

y el error D -bayesiano es un promedio del error- D sobre los valores de los parámetros que siguen una función de densidad normal, generados aleatoriamente, que puede aproximarse por:

$$D\text{-error bayesiano} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \det(\Omega(\beta^{(r)} / X))^{1/K}$$

en el cual $\beta^{(r)}$ son extracciones aleatorias de la función de distribución supuesta (con $r = 1, \dots, R$, extracciones aleatorias⁴⁶).

La principal fortaleza de este método radica en la minimización del D -error comparativamente con los obtenidos con diseños eficientes no bayesianos, ante errores en la determinación de los valores previos de los parámetros con relación a los verdaderos. Es decir que, los diseños eficientes no bayesianos serán más eficientes que los bayesianos en el caso en que los valores previos de los parámetros sean correctos (es decir, iguales a los verdaderos), en otro caso los diseños bayesianos serán más eficientes. En otras palabras, puede afirmarse que los diseños bayesianos son menos sensibles al establecimiento errado de los valores previos de los parámetros a estimar.

Los *diseños experimentales de probabilidad de elección óptima*, también llamados *diseños de probabilidad mágica (magic P designs)*, requieren igualmente el establecimiento de valores previos de los parámetros a estimar y procuran obtener máxima información de cada situación de elección utilizando valores de probabilidad de elección óptima. Se trata de diseños D -eficientes que suponen que uno de los atributos posee niveles continuos (no discretos) al considerar que la eficiencia del diseño puede mejorarse si el atributo se supone como una variable continua dentro de un rango de valores en vez de asumir determinados valores discretos. Las limitaciones que enfrenta este tipo de diseño experimental son: se encuentra limitado a dos alternativas de elección, su aplicación en modelos logit multinomiales y los niveles de los atributos considerados como variables continuas están estrechamente vinculados a los valores previos supuestos de los parámetros con lo cual una pequeña desvío en la determinación de los valores previos de los parámetros con respecto a los verdaderos genera una pérdida significativa de eficiencia del diseño.

⁴⁶ La selección (o extracciones) de los parámetros de la función de densidad supuesta puede realizarse a través de extracciones aleatorias (random draws) o utilizando otros tipos de selección como por ejemplo, extracciones de Halton (Halton draws), extracciones de Sobol (Sobol draws) o extracciones Gaussianas (Gaussian draws), que generan una disminución importante del número de extracciones necesarias (siendo necesarias aproximadamente un 10% de las extracciones aleatorias).

Los *diseños eficientes para estimación de un modelo logit multinomial con parámetros aleatorios* se generan suponiendo que los valores de los parámetros previos de las funciones de utilidad a estimar son aleatorios y poseen una determinada distribución de probabilidad. Pueden generarse tanto para datos de corte transversal como para datos de panel. Para la generación de este tipo de diseño se realizan simulaciones para evaluar la eficiencia de cada diseño sobre la distribución de los parámetros supuesta. Las medidas de eficiencia utilizadas para la selección del modelo más eficiente siguen siendo las mismas que para diseños con parámetros fijos (*D-error* o *A-error*).

Los *diseños eficientes para estimación de modelos de componentes del error* para datos de corte transversal y datos de panel, que consideran la inclusión de componentes del error de estimación adicionales dentro de las funciones de utilidad especificadas. Estos componentes adicionales de error poseen distribución normal con media cero y un determinado desvío estándar. También requieren el establecimiento de valores previos de los parámetros a estimar.

Los *diseños para estimación de un modelo logit multinomial y de componentes del error con parámetros aleatorios* para datos de corte transversal y datos de panel combinan las dos metodologías anteriores en un mismo diseño eficiente.

Los *diseños eficientes promedio de diferentes modelos*⁴⁷ suponen que no sólo los valores previos de los parámetros son inciertos, sino que el tipo de modelo a estimar también lo es. Estos diseños minimizan la medida de error promedio de diferentes modelos a estimar, construyendo una matriz combinada de Varianza-Covarianza asintótica de los parámetros (Ω^{-1}) a estimar, especificando diferentes ponderaciones para cada tipo de modelo a estimar. De esta manera, se otorga a cada tipo de modelo a estimar un grado diferente de énfasis en la generación de la matriz combinada de Varianza-Covarianza asintótica de los parámetros (Choicemetrics, 2009; Rose, Scarpa y Bliemer, 2009). Por lo tanto, puede utilizarse para generar un diseño eficiente considerando diferentes modelos de estimación, entre ellos: logit multinomial, logit multinomial de parámetros aleatorios, de componentes del error y modelos con valores bayesianos previos de los parámetros. Asimismo, puede usarse para generar un diseño eficiente promedio de diferentes especificaciones de las funciones de utilidad para el mismo modelo a estimar o para generar un diseño que es un promedio de diseños eficientes

⁴⁷ En inglés se denomina a este tipo de diseño: “Model averaging of efficient designs”, cuya traducción literal sería “modelo promedio de diseños eficientes”. Sin embargo, aquí se utiliza en español la denominación “diseño eficiente promedio” haciendo referencia directa al resultado del método que produce un diseño de experimento que minimiza el valor promedio ponderado de la medida de error (D o A, por ejemplo) de diferentes modelos.

de modelos con diferente número de alternativas de elección. Este último caso resulta interesante a los efectos de los objetivos de estudio de esta investigación y en función de la experiencia piloto realizada utilizando diseños experimentales de elección considerando la disponibilidad de alternativas de transporte de los entrevistados. En la sección 8, se profundiza la aplicación de este tipo de diseño a los efectos de su aplicación en la encuesta definitiva a realizar.

5.5.2. Diseño muestral

Como es sabido, el marco muestral define el universo de encuestados de los cuales se extraerá una muestra finita. Los objetivos del estudio son los que determinan el marco muestral, por lo tanto debe definirse de manera que permita responder a los interrogantes objeto de investigación con el modelo desarrollado desde la muestra (Louviere, et al. 2000).

Para el caso de la estimación de modelos de elección de modo de transporte, se desea estimar el porcentaje (probabilidad o proporción) de usuarios de un determinado modo de transporte con relación al total de las alternativas (o modos de transporte) disponibles para los usuarios.

La estimación econométrica de modelos de elección discreta se realiza aplicando el método de máxima verosimilitud, razón por la cual debe tenerse especial cuidado en la toma de la muestra debido a que el logaritmo de la función de verosimilitud depende de cómo se obtienen los datos (Daganzo, 1980).

Por lo tanto, la estrategia de muestreo en una encuesta de preferencias declaradas para estimar modelos de elección discreta debe realizarse cuidadosamente para que la muestra sea representativa de la población bajo estudio. En el caso de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo, habrá que entrevistar a distintos tipos de usuarios (actuales o potenciales) que estén familiarizados con las alternativas (o modos) de elección presentadas en la entrevista, para poder estimar el comportamiento de los actuales usuarios y la atracción de nuevos usuarios por alguno de los modos de transporte considerados.

Tradicionalmente, para estudios de elección de modo de transporte se han utilizado las siguientes alternativas metodológicas de muestreo:

a) Muestreo Aleatorio Simple (*MAS*). Este método de muestreo permite solucionar el problema de la representatividad de la muestra. Aquí, cada individuo del marco muestral tiene la misma probabilidad de ser elegido en la muestra de manera que al estudiar la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo en la ciudad de Córdoba, el marco muestral estará conformado por todos los trabajadores que residen en la Ciudad de

Córdoba (N) y cada trabajador tendrá la misma probabilidad de ser seleccionado en la muestra ($1/N$).

b) Muestreo estratificado. El muestreo aleatorio simple puede generar muestras grandes, razón por la cual puede utilizarse el *muestreo estratificado* para disminuir el tamaño muestral manteniendo los niveles de confianza deseados, como resultado de la reducción de la varianza total de las variables de interés a partir de las cuales se calcula el tamaño muestral. Otra razón para utilizar el muestreo estratificado es la necesidad de obtener conclusiones sobre cada subpoblación o segmento de mercado de forma independiente.

En los estudios con muestras aleatorias exógenamente estratificadas (*MAEE*), el marco muestral se divide en G grupos mutuamente excluyentes, cada uno de ellos representando una proporción W_g de la población. La base para la creación de cada grupo es cualquier característica personal (por ej., ingreso, localización residencial, edad, género, etc.) distinta de la variable dependiente sujeta a medición (por ej., la elección de modo de transporte). La muestra tomada de cada grupo no necesita resultar en la misma proporción que en la población; en vez de esto, puede decidirse determinar una proporción H_g de la muestra de cada grupo g .

Si resulta de interés estudiar determinados segmentos de mercado, un *MAEE* ejecutado apropiadamente capturará los segmentos de mercado en la proporción aproximada en la cual existen en el marco de muestreo. Debido a que algunos segmentos de mercado de interés pueden ocurrir de manera relativamente infrecuente en un *MAS*, a menudo es necesario usar un *MAEE*. En la estratificación exógena del marco de muestreo, las estimaciones de los parámetros de la elección pueden obtenerse ponderando cada entrevistado en el grupo g por el ratio W_g/H_g . Si la proporción muestral y la de la población son iguales, esto es equivalente al caso de muestreo aleatorio simple.

c) Muestreo por conglomerados (*MPG*). Una muestra por conglomerados es una muestra aleatoria en la que cada unidad de muestreo es un conjunto, o conglomerado de elementos. Las manzanas de la ciudad se utilizan frecuentemente como conglomerados de hogares o de personas. En el muestreo por conglomerados en una etapa, se selecciona una muestra aleatoria de conglomerados y se realiza la encuesta en el total de elementos que componen cada conglomerado seleccionado. Cuando cada conglomerado posee una gran cantidad de elementos o éstos son tan semejantes que la medición de sólo unos cuantos proporciona información sobre el conglomerado completo, se utiliza el muestreo por conglomerados en etapas múltiples. Así, por ejemplo, en el muestreo por conglomerados de dos etapas se selecciona primero una muestra aleatoria de conglomerados y luego una muestra aleatoria de elementos de cada conglomerado. Cuando la población se divide en grupos de

elementos sin solapamiento, el muestreo por conglomerados es similar al muestreo estratificado, considerando a cada grupo como un estrato y seleccionando una muestra aleatoria simple de cada grupo.

d) Muestreo basado en la elección. En los casos en que algunas alternativas de transporte (modos) sean elegidas o utilizadas de manera infrecuente en la población, a menudo se utiliza el *muestreo basado en la elección o muestreo endógeno*⁴⁸ (Koppelman y Garrow, 2005). En estas muestras se toman las observaciones basándose en el resultado de la elección considerada, es decir, las encuestas se realizan a los usuarios de cada uno de los modos de transporte en el trayecto del viaje o en las paradas o estaciones, por ejemplo. El uso de este último método de muestreo permite obtener estimadores consistentes, aunque no eficientes, al especificar un modelo econométrico de elección logit multinomial en el que se incluye el conjunto completo de constantes específicas de las alternativas y a partir del cual pueden obtenerse los estimadores muestrales estándar (o estratificados) de máxima verosimilitud con un ajuste específico en las constantes específicas de las alternativas de elección (Manski y Lerman, 1977; Manski y McFadden, 1981; Cosslett, 1981), utilizando las cuotas de mercado existentes y conocidas previamente. Es decir, la estimación de máxima verosimilitud de modelos MNL para muestra exógena asegura la obtención de parámetros consistentes, con excepción de las constantes. Sin embargo, para modelos de valor extremo generalizado (VEG) en general, no se cumple el mismo resultado utilizando este método de estimación. Bierlaire, Bolduc y McFadden (2008) han sugerido el uso de un nuevo estimador más general, denominado Estimador Máximo Verosímil Condicionado Ponderado, que no requiere del conocimiento previo de las cuotas de mercado.

Cabe señalar, que en el caso de encuestas de preferencias declaradas y considerando las estrategias de muestreo b) y d), si bien puede segmentarse el mercado en grupos mutuamente excluyentes de consumidores según el modo de transporte utilizado en la realidad⁴⁹, el muestreo aplicado será exógenamente estratificado debido a que la variable de estratificación corresponde al modo elegido en un contexto específico real y sin embargo, la encuesta de preferencias declaradas tiene por objeto relevar la disposición a utilizar diferentes modos de transporte en contextos diferentes, los que se presentan en los escenarios de elección.

Tanto el muestreo aleatorio simple como el muestreo aleatorio estratificado exógenamente permiten obtener estimadores consistentes y eficientes de los modelos de elección discreta a estimar utilizando el método de estimación de máxima verosimilitud para muestra exógena

⁴⁸ Monfort, 1991, 1992.

⁴⁹ Es decir, según el modo de transporte utilizado habitualmente o en un día específico de referencia.

(Ben-Akiva y Lerman, 1985; Bierlaire et al., 2008). Por lo tanto, resulta recomendable utilizar el muestreo aleatorio simple o el muestreo estratificado para realizar la encuesta.

A los fines de determinar la estrategia de muestreo a seguir, debe considerarse la expansión muestral que deberá realizarse para obtener pronósticos a partir de los modelos econométricos de elección discreta estimados.

El método de enumeración muestral es el método más apropiado de agregación de los resultados de los modelos de elección discreta a estimar (Ortúzar y Willumsen, 1994). En el caso del muestreo aleatorio simple, la proporción de viajes al trabajo en diferentes modos de transporte utilizando este método de agregación será:

$$\hat{P}_i = \frac{1}{N_s} \sum_{n=1}^{N_s} P(i / X_n)$$

donde, N_s : es el número de individuos en la muestra.

Y en el caso del muestreo estratificado, será:

$$\hat{P}_i = \sum_{g=1}^G \left(\frac{N_g}{N_T} \right) \left(\frac{1}{N_{sg}} \sum_{n=1}^{N_{sg}} P(i / X_n) \right)$$

donde,

El índice i se refiere al modo de transporte a utilizar para realizar viajes al trabajo.

X_n : es la matriz de variables explicativas del modelo de elección discreta.

N_{sg} : es el tamaño de la muestra en el grupo g .

N_g : es el tamaño de la población para el grupo g .

N_T : es el tamaño de la población.

Cabe señalar, que en el muestreo estratificado, $\sum_{g=1}^G \frac{N_g}{N_T} = 1$.

A los fines de obtener una muestra representativa de la población y lograr una cobertura adecuada de los usuarios actuales y potenciales de los distintos modos de transporte disponible en la ciudad de Córdoba, se propone la realización de una encuesta en hogares.

5.5.3. Tamaño de la muestra

Dada la estrategia de muestreo, debe definirse el tamaño mínimo de la muestra. Los estudios de preferencias reveladas y declaradas permiten medir la probabilidad de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo, con cierto nivel de significación. La distribución asintótica de una muestra (es decir, la distribución para $n \rightarrow \infty$) de una proporción p_n , obtenida mediante *una muestra aleatoria simple de tamaño n*, se distribuye normal con media p (la verdadera proporción poblacional) y varianza $p \cdot q/n$, donde $q = 1 - p$. Si se pretende estimar la verdadera proporción dentro de un $a\%$ del verdadero valor p con probabilidad $1 - \alpha$ o mayor, entonces debe estimarse el tamaño muestral mínimo necesario para satisfacer el requerimiento de que

$$P(|p_n - p| \leq a \cdot p) \geq 1 - \alpha$$

Siguiendo a Louviere, et al. (2000), el tamaño mínimo de la “muestra de respuestas” aplicando el muestreo aleatorio simple vendrá determinado por:

$$n \geq \frac{z^2 \cdot q}{p \cdot a^2} \quad \text{o por} \quad n \geq \frac{z^2 \cdot p \cdot q}{e^2}$$

donde:

z : es la inversa de la función de distribución acumulada normal para un nivel de confianza determinado.

p : proporción de éxitos en la población (proporción de usuarios del modo de transporte especificado en nuestro caso).

q : proporción de fracasos en la población (proporción de no usuarios del modo de transporte especificado).

e : error muestral admisible en términos absolutos de la variable de interés (proporción en nuestro caso).

a : error muestral admisible en términos porcentuales de la variable de interés (proporción en nuestro caso).

Cabe señalar, que uno de los supuestos clave para derivar la ecuación anterior es que las observaciones de elección en la muestra son independientes. La práctica ha mostrado que un buen diseño del experimento de elección que propone a los entrevistados cada escenario de elección de preferencias declaradas sin relacionarlo con los demás escenarios presentados, resultará en un vector de parámetros estimados que son proporcionales a aquellos derivados de modelos estimados sobre elecciones individuales para cada entrevistado. Por lo tanto, la única diferencia entre los parámetros estimados estará en los niveles de la varianza de los mismos, que en última instancia afectará a su eficiencia

estadística pero no a su insesgamiento asintótico (consistencia). Adicionalmente, podrán aplicarse modelos mixtos que contemplen la existencia de correlación serial entre las respuestas, como los presentados en la sección 5.2.3.

Por consiguiente, dado que los experimentos de elección de preferencias declaradas involucran la entrevista a un individuo que responde a varios escenarios (también denominados conjuntos o situaciones de elección), una vez determinado el tamaño de la muestra en número de casos necesarios para estimar apropiadamente el parámetro poblacional especificado (por ej., proporción de usuarios de un modo de transporte), el número de encuestas mínimas necesarias a realizar a las personas seleccionadas será igual al número de casos necesarios dividido el total de escenarios presentados a cada individuo entrevistado.

Por lo tanto, si cada encuesta realizada a cada individuo posee r escenarios de elección, el tamaño mínimo de la “muestra de individuos” vendrá determinado por (Louviere, et al. 2000, pp. 264):

$$n \geq \frac{1}{r} \cdot \frac{z^2 \cdot q}{p \cdot a^2} \quad ; \quad n \geq \frac{z^2 \cdot p \cdot q}{r \cdot e^2}$$

Entonces, el tamaño mínimo de la muestra de individuos estará relacionado con el diseño del experimento de elección que determina el número de escenarios de elección presentados a cada persona.

Siguiendo a Scheaffer et al. (2007), en el caso de aplicar el *muestreo aleatorio estratificado exógenamente*⁵⁰, primero se determinan las fracciones de afijación de cada estrato, utilizando el método de afijación óptima que determina la proporción de encuestas del total de la muestra que se asignan a cada estrato de manera de minimizar el costo total del relevamiento para el valor fijo de la varianza de estimación de la variable de interés, a saber:

$$A_i = \frac{N_i \sigma_i / \sqrt{c_i}}{\sum_{k=1}^L N_k \sigma_k / \sqrt{c_k}} = \frac{N_i p_i q_i / \sqrt{c_i}}{\sum_{k=1}^L N_k p_k q_k / \sqrt{c_k}}$$

donde:

c_i : es el costo de obtener una observación individual del i -ésimo estrato.

⁵⁰ Esta sección se basa en el libro de Scheaffer, Mendenhall y Ott (2007).

N_i : es el tamaño del i -ésimo estrato.

σ_i^2 : es una aproximación de la varianza poblacional de la variable de interés para el estrato i -ésimo, que en el caso de la estimación de una proporción es igual a $p_i \cdot q_i$.

N : es el tamaño de la población total.

L : número de estratos en que se divide la población.

Una vez determinadas las fracciones de afijación, se determina el tamaño mínimo de la muestra total utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L N_i^2 \sigma_i^2 / A_i}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^L N_i^2 p_i q_i / A_i}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i p_i q_i}$$

en la cual:

A_i : es la fracción de observaciones afijadas al estrato i .

p_i : es la proporción poblacional para el estrato i .

$D = \frac{B^2}{4}$, que es la varianza de la proporción con una probabilidad aproximadamente igual a 0,95 y con B unidades para el error de estimación de la proporción.

N_i : es el tamaño del i -ésimo estrato.

σ_i^2 : es una aproximación de la varianza poblacional de la variable de interés para el estrato i -ésimo.

N : es el tamaño de la población total.

L : número de estratos en que se divide la población.

Luego se asigna a cada estrato una porción de ese total de encuestas, multiplicando el porcentaje de afijación correspondiente a cada estrato por el total de encuestas de la muestra.

Por otra parte, siguiendo a Rose y Bliemer (2005b), existe una relación entre la eficiencia de los estimadores del modelo LMN de elección discreta y el tamaño teórico de la muestra

mínimo necesario relacionado al diseño del experimento de elección. Utilizando un diseño experimental D-eficiente para generar los escenarios de elección de la encuesta, pueden obtenerse parámetros del modelo de elección con errores estándar menores que otros unido al uso de una única medida global de error, el error-*D*. Así, para obtener parámetros estimados estadísticamente significativos debe considerarse que el estadístico t-student correspondiente a cada estimador debe ser mayor a 1,96 para un nivel de significación del 95%, es decir:

$$t = \frac{\beta_k^*}{S_n(\beta_k^*)} \geq 1,96$$

Aquí, β_k^* es el valor previo supuesto para el *k*-ésimo parámetro a estimar y en función del cual se ha diseñado el experimento de elección *D*-eficiente. $S_n(\beta_k^*)$ es el desvío estándar muestral de este estimador para el caso de *n* personas encuestadas en la muestra.

Dado que $S_n(\beta_k^*) = \frac{S_1(\beta_k^*)}{\sqrt{n}}$, donde $S_1(\beta_k^*)$ es el desvío estándar muestral de este estimador para el diseño del experimento de elección y para un único encuestado, es posible determinar el tamaño mínimo teórico de la muestra de encuestas completas de preferencias declaradas⁵¹ a realizar relacionado a cada estimador con el objeto de obtener un parámetro estimado significativo, que será:

$$n \geq \left(\frac{1,96 \cdot S_1(\beta_k^*)}{\beta_k^*} \right)^2$$

Para obtener todos los parámetros estimados significativos del modelo de elección, se calcula el tamaño muestral mínimo teórico para cada uno de ellos y se utiliza el que arroje el mayor valor. Así, algunos parámetros a estimar serán eficientes “por diseño”, con niveles de confianza más altos que otros a partir del cual se ha determinado el tamaño mínimo de la muestra.

Cabe señalar, que los diseños experimentales que minimizan el tamaño muestral relacionado con los estimadores del modelo de elección se denominan “diseños S-eficientes”.

⁵¹ Por “encuesta completa de preferencias declaradas” se hace referencia al diseño completo del experimento de elección, sin dividirlo en bloques.

El tamaño muestral mínimo teórico relacionado a los estimadores del modelo de elección está relacionado con los niveles de los atributos de las alternativas de elección. En particular, puede disminuirse el tamaño mínimo teórico de la muestra mediante aumentos del rango de niveles o disminuciones del número de niveles de los atributos considerados en el experimento (Bliemer y Rose, 2005b).

Por lo tanto, una vez definidas las alternativas de elección y sus atributos, el número y rango de los niveles de los atributos se determinarán de manera de disminuir el tamaño mínimo teórico de la muestra y así poder estimar significativamente la mayoría de los parámetros del modelo, sujeto a la restricción presupuestaria existente para realizar las encuestas, dado el tamaño muestral obtenido por el método de muestreo en etapas aplicado a los fines de la obtención de una muestra representativa de la población de trabajadores de la ciudad de Córdoba.

Dadas las restricciones financieras y de tiempo de realización de la encuesta, para la estimación empírica de la demanda se ha determinado un tamaño muestral mínimo de 100 encuestas de preferencias declaradas para la muestra total realizada mediante muestreo aleatorio simple considerando como variable de interés de estudio a la proporción de viajes al trabajo en autobús, considerando datos de la encuesta de origen y destino de Córdoba del año 2000.

Según la Encuesta de Origen y Destino del año 2000, la proporción de viajes al trabajo en autobús ascendió a 34,22%. Por lo tanto, para un muestreo aleatorio simple el tamaño muestral mínimo para una encuesta de preferencias declaradas de 6 escenarios cada una, se determina por:

$$n \geq \frac{z^2 \cdot p \cdot q}{r \cdot e^2} = \frac{1,95996398^2 \cdot 0,3422 \cdot (1 - 0,3422)}{6 \cdot 0,038^2} = 100$$

Considerando un error de muestreo del 3,8% en valor absoluto de la proporción de viajes al trabajo en autobús y un nivel de confianza del 95% (para $z=1,95996398$).

Con esta misma cantidad de encuestas de preferencias reveladas, el error de muestreo asciende a 9,3% (error en términos absolutos de la proporción de viajes al trabajo en autobús) con un nivel de confianza del 95%.

Cabe señalar, que la estrategia de muestreo propuesta considera un muestreo por conglomerados geográficos en tres etapas seleccionando en primer lugar radios censales (uno en cada una de las 74 fracciones censales que componen el área urbana de la Ciudad de Córdoba), luego manzanas y finalmente viviendas. Este procedimiento permitirá aplicar los métodos de estimación tradicionales para muestra exógena, para luego realizar

pronósticos utilizando el método de enumeración muestral. El pronóstico de la probabilidad de elección de modo de transporte con muestreo por conglomerados geográficos de las personas ocupadas en las distintas fracciones censales, vendrá determinado por:

$$\hat{P}_i = \sum_{g=1}^G \left(\frac{N_g}{N_T} \right) \left(\frac{1}{N_{sg}} \sum_{n=1}^{N_{sg}} P(i / X_n) \right)$$

donde,

El subíndice i se refiere al modo de transporte a utilizar para realizar viajes al trabajo.

N_{sg} : es el número de ocupados seleccionados en la muestra en la fracción censal g .

N_g : es el número de ocupados existentes en la población en la fracción censal g .

N_T : es el número de ocupados en la población (las 74 fracciones censales).

5.5.4. Procedimiento propuesto para el relevamiento

La estrategia a seguir para realizar la encuesta fue la siguiente:

- 1) Visita a cada manzana que ha sido seleccionada por muestreo aleatorio simple.
- 2) Seleccionar los hogares de cada manzana visitada mediante un procedimiento de muestreo sistemático. Dado que no se cuenta con un listado exhaustivo de las viviendas que integran las manzanas seleccionadas, el método de muestreo sistemático propuesto implica:
 - Identificar cada manzana por las calles que conforman su perímetro, calcular el número promedio de viviendas por manzana según la fracción y radio censal a los que pertenece cada manzana y dividirlo por el número de viviendas a encuestar en cada manzana. Este valor calculado se denominará k , dando lugar a una muestra sistemática de 1 de cada k elementos.
 - Seleccionar al azar una de las calles que conforman su perímetro.
 - Seleccionar al azar una de las primeras k viviendas de la manzana (vivienda k_1) y de frente a la calle seleccionada encontrar la primera vivienda seleccionada al azar contando el número de viviendas de derecha a izquierda, en el caso de edificios contar las viviendas desde abajo hacia arriba.
 - Continuar seleccionando viviendas para encuestar, omitiendo k viviendas hacia la izquierda a partir de la siguiente a la primera seleccionada, recorriendo el perímetro de la manzana.

- Si en un hogar no desean responder a la encuesta o no se encuentra a ningún trabajador en el mismo, entonces deberá reemplazarse ese hogar por el que se encuentra contiguo a él hacia la izquierda.
- Una vez que se han completado el número de encuestas de personas ocupadas predefinido para esa manzana, concluir el relevamiento en esa manzana.

3) Presentarse en cada hogar y entregar un folleto de presentación de la encuesta e invitar a completar la encuesta de preferencias reveladas y declaradas. En el Anexo 1 se presentan los formularios diseñados para el relevamiento de esta encuesta. Como puede apreciarse, en una primera página se relevan las características socio-demográficas del hogar, tenencia de vehículos y disponibilidad de conexión a internet en el hogar. En la segunda página, se relevan las características socio-demográficas de todos los miembros del hogar que trabajan fuera del mismo, los viajes realizados por esos miembros desde el hogar al trabajo y de regreso al hogar desde el trabajo y finalmente, se pregunta sobre la percepción de cada trabajador sobre cuáles son los modos de transporte que considera disponibles para viajar al trabajo y regresar del mismo consignando las características de esos viajes en directa relación a las variables que serán utilizadas en la modelación de demanda. La tercera página presenta un listado de códigos a ser utilizados por los encuestadores a los fines de completar la encuesta.

4) En caso de que el hogar no posea acceso a Internet, se propondrá realizar la encuesta en forma personalizada y con computadora personal que llevará el encuestador (encuesta personal asistida por computadora), solicitando una fecha de entrevista.

5) Envío de e-mail invitando a responder la encuesta de preferencias declaradas vía internet a los encuestados seleccionados que brindaron su dirección de e-mail.

6) Realizar la encuesta a hogares que no cuentan con acceso a Internet en fechas determinadas de común acuerdo con quienes responderán las encuestas.

6. Encuesta piloto de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo en la Ciudad de Córdoba

La encuesta piloto de preferencias declaradas fue realizada a una muestra de estudiantes y egresados universitarios de la Ciudad de Córdoba que trabajan. La encuesta de preferencias declaradas se diseñó a partir de un experimento de elección de modo de transporte y además se recopilaron datos socio-demográficos de los encuestados. Los datos obtenidos permitieron realizar estimaciones de elección de modo de transporte, de tenencia de vehículo particular y modelar en conjunto las decisiones de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular, y a pesar de que el modelo estimado de elección conjunta de tenencia y modo de transporte especificado no permitió estimar en ese momento la interacción entre los cambios de las variables de nivel de servicio de los modos de transporte y los niveles de tenencia de vehículo particular, constituyó un análisis esencial para el desarrollo de los modelos que se presentan en este documento y que logran estimar la interrelación existente entre cambios en las variables de nivel de servicio de los modos de transporte urbano y las decisiones de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte para viajar al trabajo.

En las siguientes subsecciones se describen el diseño del experimento de elección, del cuestionario y la forma en que se realizó el relevamiento.

6.1. Diseño del experimento de elección de la encuesta piloto de preferencias declaradas

Numerosos estudios han considerado sólo estructuras de decisión “forzadas”, es decir, sin incorporar al proceso de decisión la posibilidad de “no comprar” por parte del encuestado o potencial usuario (Hensher, 1994, Fowkes y Wardman, 1988). Sin embargo, otros estudios reconocen la necesidad de proponer al entrevistado la posibilidad de no elección o no compra (Dhar, 1997, Dhar y Simonson, 2003, Hensher et al., 2005, Goos, et al., 2008). La especificación de un modelo que incluya solamente las alternativas de elección acota tanto las posibilidades de elección como los resultados en términos de capacidad de predicción del modelo. En la encuesta piloto realizada, se especificó una estructura de decisión con alternativa de “no elección”, para la decisión de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo.

El diseño del experimento de elección de modo de transporte para realizar viajes⁵² al trabajo consideró cinco alternativas o modos de transporte, a saber: automóvil particular, motocicleta, taxi o remis, autobús común y autobús diferencial. Los atributos de elección considerados fueron: tiempo de viaje (de ida o en un solo sentido), tiempo de espera promedio, costo de viaje, cuadras caminadas en origen y destino (en conjunto), costo de estacionamiento diario. Tanto el tiempo de viaje como los costos de viaje corresponden a todas las alternativas o modos de transporte. El tiempo de espera corresponde a los modos de transporte público: taxi o remis, autobús común y autobús diferencial. El atributo cuadras caminadas en origen más destino corresponde a los modos de transporte autobús: autobús común y diferencial. El costo de estacionamiento diario es un atributo de los modos automóvil particular y motocicleta.

En la Tabla 1 se presentan los atributos y niveles utilizados en el diseño del experimento de elección de la encuesta piloto.

Los niveles de los atributos utilizados se establecieron considerando la realidad de la población de Córdoba, es decir, los tiempos de viaje, tiempos de espera, tarifas de transporte público, cuadras caminadas en origen y destino y costos de estacionamiento considerados razonables y de acuerdo a niveles actuales existentes. Además, se consideraron tres niveles para cada uno de los atributos, de manera de poder estimar relaciones no lineales para cada uno de los atributos al estimar las funciones de utilidad de los diferentes modos de transporte. El rango de variación de los niveles de los atributos se estima que resulta razonable en relación a la experiencia de los entrevistados, tratando de ampliarse lo más posible sin perder de vista esta característica que le otorga razonabilidad a cada elección a realizar. A los fines de hacer más realista el experimento de elección para cada uno de los entrevistados, se realizaron diseños experimentales para viajes de distinta longitud, a saber: 2 kms, 5 kms., 10 kms., 15 kms., 20 kms., 25 kms y 30 kms. En la Tabla 2 se presentan los rangos de longitudes de viaje correspondiente a cada uno.

⁵² Se considera viaje a un traslado desde un origen a un destino. En el caso de viajes al trabajo, se considera el viaje desde el hogar al trabajo, considerando todos los atributos relacionados a los modos de transporte medidos en relación a este viaje.

Tabla 1

Atributos y niveles del diseño del experimento de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo.

Distancia de viaje: 2 kms

Modo	Tiempo de viaje (minutos)			Tiempo de espera promedio (en minutos)			Costo de viaje (de ida o en un solo sentido)			Cuadras caminadas en origen + destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil particular	4	6	8				\$ 2,00	\$ 2,50	\$ 3,00				\$ -	\$ 3,00	\$ 6,00
Motocicleta	4	6	8				\$ 1,00	\$ 1,25	\$ 1,50				\$ -	\$ 2,00	\$ 4,00
Taxi o remis	4	6	8	5	10	15	\$ 5,00	\$ 7,00	\$ 9,00						
Colectivo común	6	8	10	10	20	30	\$ 1,50	\$ 2,00	\$ 2,50	2	4	6			
Colectivo Diferencial	5	6	7	5	10	15	\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 6,00	2	4	6			

Distancia de viaje: 5 kms

Modo	Tiempo de viaje (minutos)			Tiempo de espera promedio (en minutos)			Costo de viaje (de ida o en un solo sentido)			Cuadras caminadas en origen + destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil particular	10	12	15				\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 6,00				\$ -	\$ 3,00	\$ 6,00
Motocicleta	10	12	15				\$ 2,00	\$ 2,50	\$ 3,00				\$ -	\$ 2,00	\$ 4,00
Taxi o remis	10	12	15	5	10	15	\$ 10,00	\$ 14,00	\$ 18,00						
Colectivo común	17	20	25	10	20	30	\$ 1,50	\$ 2,00	\$ 2,50	2	4	6			
Colectivo Diferencial	14	16	18	5	10	15	\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 6,00	2	4	6			

Distancia de viaje: 10 kms

Modo	Tiempo de viaje (minutos)			Tiempo de espera promedio (en minutos)			Costo de viaje (de ida o en un solo sentido)			Cuadras caminadas en origen + destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil particular	20	25	30				\$ 8,00	\$ 10,00	\$ 12,00				\$ -	\$ 3,00	\$ 6,00
Motocicleta	20	25	30				\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 6,00				\$ -	\$ 2,00	\$ 4,00
Taxi o remis	20	25	30	5	10	15	\$ 18,00	\$ 23,00	\$ 28,00						
Colectivo común	33	40	50	10	20	30	\$ 1,50	\$ 2,00	\$ 2,50	2	4	6			
Colectivo Diferencial	27	30	33	5	10	15	\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 6,00	2	4	6			

Distancia de viaje: 15 kms

Modo	Tiempo de viaje (minutos)			Tiempo de espera promedio (en minutos)			Costo de viaje (de ida o en un solo sentido)			Cuadras caminadas en origen + destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil particular	30	37	45				\$ 12,00	\$ 15,00	\$ 18,00				\$ -	\$ 3,00	\$ 6,00
Motocicleta	30	37	45				\$ 6,00	\$ 7,50	\$ 9,00				\$ -	\$ 2,00	\$ 4,00
Taxi o remis	30	37	45	5	10	15	\$ 30,00	\$ 35,00	\$ 40,00						
Colectivo común	50	60	75	10	20	30	\$ 1,50	\$ 2,00	\$ 2,50	2	4	6			
Colectivo Diferencial	40	45	50	5	10	15	\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 6,00	2	4	6			

Distancia de viaje: 20 kms

Modo	Tiempo de viaje (minutos)			Tiempo de espera promedio (en minutos)			Costo de viaje (de ida o en un solo sentido)			Cuadras caminadas en origen + destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil particular (conductor)	40	50	60				\$ 16,00	\$ 20,00	\$ 24,00				\$ -	\$ 3,00	\$ 6,00
Motocicleta particular	40	50	60				\$ 8,00	\$ 10,00	\$ 12,00				\$ -	\$ 2,00	\$ 4,00
Taxi o remis	40	50	60	5	10	15	\$ 35,00	\$ 42,00	\$ 49,00						
Colectivo común	67	80	100	10	20	30	\$ 1,50	\$ 2,00	\$ 2,50	2	4	6			
Colectivo Diferencial	55	60	67	5	10	15	\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 6,00	2	4	6			

Distancia de viaje: 25 kms

Modo	Tiempo de viaje (minutos)			Tiempo de espera promedio (en minutos)			Costo de viaje (de ida o en un solo sentido)			Cuadras caminadas en origen + destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil particular	50	63	75				\$ 20,00	\$ 25,00	\$ 30,00				\$ -	\$ 3,00	\$ 6,00
Motocicleta	50	63	75				\$ 10,00	\$ 12,50	\$ 15,00				\$ -	\$ 2,00	\$ 4,00
Taxi o remis	50	63	75	5	10	15	\$ 42,00	\$ 50,00	\$ 58,00						
Colectivo común	83	100	125	10	20	30	\$ 1,50	\$ 2,00	\$ 2,50	2	4	6			
Colectivo Diferencial	68	75	83	5	10	15	\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 6,00	2	4	6			

Distancia de viaje: 30 kms

Modo	Tiempo de viaje (minutos)			Tiempo de espera promedio (en minutos)			Costo de viaje (de ida o en un solo sentido)			Cuadras caminadas en origen + destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil particular	60	75	90				\$ 24,00	\$ 30,00	\$ 36,00				\$ -	\$ 3,00	\$ 6,00
Motocicleta	60	75	90				\$ 12,00	\$ 15,00	\$ 18,00				\$ -	\$ 2,00	\$ 4,00
Taxi o remis	60	75	90	5	10	15	\$ 50,00	\$ 60,00	\$ 70,00						
Colectivo común	100	120	150	10	20	30	\$ 1,50	\$ 2,00	\$ 2,50	2	4	6			
Colectivo Diferencial	80	90	100	5	10	15	\$ 4,00	\$ 5,00	\$ 6,00	2	4	6			

Tabla 2**Diseños de elección correspondientes a distintas distancias de viaje de los entrevistados**

Distancia de viaje del entrevistado		Distancia de viaje del experimento de elección
De	A	
0	3 kms	2 kms
3	7,5 kms	5 kms
7,6 kms	12,5 kms	10 kms
12,6 kms	17,5 kms	15 kms
17,6 kms	22,5 kms	20 kms
22,6 kms	27,5 kms	25 kms
Más de 27,5 kms		30 kms

De este modo, los escenarios de elección presentados a cada entrevistado guardan estrecha relación con la longitud de su viaje habitual al trabajo. Por ejemplo, si un usuario reporta realizar un viaje al trabajo de 8 kms, responde la encuesta de elección de modo de transporte para un viaje de 10 kms. Cabe señalar, que el diseño del experimento de elección realizado corresponde a un diseño en niveles de los atributos. En el presente estudio piloto se optó por presentar diseños de elección basados en una distancia de viaje cercana a la reportada por cada entrevistado.

Asimismo, se ha considerado la disponibilidad de alternativas de elección. Esto implicó realizar un diseño de experimento de elección para cada uno de los conjuntos de alternativas de elección disponibles por parte del entrevistado. En la Tabla 3 pueden apreciarse los diferentes conjuntos de elección disponibles para un individuo, según su disponibilidad de vehículo privado para viajar al trabajo.

Tabla 3**Diseños de elección según disponibilidad de alternativas**

Diseño	Alternativas disponibles				
	Automóvil	Motocicleta	Taxi o remis	Autobús común	Autobús diferencial
Diseño maestro o completo	Automóvil	Motocicleta	Taxi o remis	Autobús común	Autobús diferencial
Sub-diseño 1		Motocicleta	Taxi o remis	Autobús común	Autobús diferencial
Sub-diseño 2	Automóvil		Taxi o remis	Autobús común	Autobús diferencial
Sub-diseño 3			Taxi o remis	Autobús común	Autobús diferencial

Como puede apreciarse, se ha considerado que existe total disponibilidad de los modos de transporte público. A pesar de que en la realidad muchos habitantes no poseen una línea de

autobús diferencial que cubra de forma directa sus necesidades de viajes al trabajo, resulta razonable pensar que a futuro podrían contar con este servicio. Adicionalmente, todos los habitantes conocen de qué tipo de servicio se trata dado que existen varias líneas en operación en la ciudad de Córdoba, por lo que en los diseños de elección se ha considerado siempre como una alternativa disponible o potencialmente disponible.

Para cada uno de los conjuntos de alternativas disponibles se generó un diseño eficiente utilizando el software NGene, con los mismos atributos y con niveles de los atributos correspondientes a las diferentes longitudes de viaje. Así, para la implementación de la encuesta considerando distancias de viaje diferenciadas y según la disponibilidad de alternativas de elección por parte del entrevistado, se generaron 28 diseños D-eficientes con 18 escenarios de elección cada uno, que consideraron un total de 17 variables específicas de las distintas alternativas o modos de viaje presentados en el diseño maestro de elección. Asimismo, el diseño del experimento introdujo una variable de “bloque” en tres niveles que permitió reducir a 6 el número de escenarios de elección que responde cada persona entrevistada. Es decir, cada entrevistado responde sólo 6 de los 18 escenarios de elección para el diseño de encuesta que le corresponde (según distancia de viaje y disponibilidad de modos de transporte), evitando así el efecto fatiga que implica para el entrevistado responder a un gran número de escenarios de elección. La presentación de seis escenarios de elección a cada entrevistado se basa en los resultados obtenidos en Sartori (2006b), estudio en el que se implementó una encuesta de preferencias declaradas a estudiantes universitarios que revelaron fatiga al responder más de seis escenarios de elección.

6.2. Diseño del cuestionario y relevamiento

El diseño del cuestionario se realizó utilizando la plataforma de Encuestas web de la Universidad Nacional de Córdoba (Limesurvey), disponible desde el año 2009, a una muestra no probabilística de graduados y estudiantes universitarios.

El cuestionario se dividió en dos grandes bloques de preguntas, en primer término se presentaron las preguntas con características socio-demográficas del entrevistado. En este bloque de preguntas se relevó la distancia habitual de viaje al trabajo, los modos de transporte disponibles en el hogar (número de automóviles y número de motocicletas en el hogar), el modo de transporte utilizado en el último viaje al trabajo realizado, entre otras características como: género, edad, categoría ocupacional, nivel de ingresos del hogar, cantidad de días a la semana que realiza el viaje y zona de residencia en la Ciudad de Córdoba.

El segundo bloque de preguntas presentó los seis escenarios de elección a cada entrevistado. A continuación, en la Figura 9 se presenta un ejemplo de escenario de elección para una persona que realiza un viaje de 5 kms, que posee automóvil y motocicleta disponible.

Figura 9: Escenario de elección para un viaje de 5 kms, para un entrevistado con disponibilidad de transporte público y automóvil particular (encuesta piloto)

Al trabajo - Bloque 2 - Encuesta de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo
Encuesta de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo en la Ciudad de Córdoba (Universidad Nacional de Córdoba) - Bloque 2

0% 100%

Con auto y moto. Bloque 2. Viaje 10 km.
Usuarios con auto y moto en el hogar

1: *Suponga que debe realizar un viaje habitual desde el hogar al trabajo, cuya distancia es de 10 kms en la ciudad de Córdoba (Argentina). En CADA UNO DE LOS SEIS ESCENARIOS QUE SE PRESENTARÁN A CONTINUACIÓN, lea atentamente cada una de las opciones de diferentes medios de transporte disponibles para realizar su viaje habitual al trabajo, considerando las características de cada uno y elija el medio de transporte que utilizaría en este caso. También puede elegir no utilizar estos medios, dado que usaría otro medio o realizaría su viaje a pie por ejemplo. Suponga además, que se trata de un día SIN LLUVIA. Escenario 1:

Elija solamente una entrada de las siguientes

- Automóvil particular. Tiempo de viaje: 30 minutos. Costo de viaje: \$ 8. Costo de estacionamiento diario: \$ 3.
- Motocicleta. Tiempo de viaje: 30 minutos. Costo de viaje: \$ 6. Costo de estacionamiento diario: \$ 2.
- Taxi o Remis. Tiempo de viaje: 20 minutos. Tiempo de espera del móvil: 5 minutos. Costo de viaje: \$ 28.
- Colectivo común. Tiempo de viaje: 40 minutos. Tiempo de espera en parada: 30 minutos. Costo de viaje: \$ 2 . Cuadras caminadas en origen más destino (total): 2.
- Colectivo diferencial. Tiempo de viaje: 33 minutos. Tiempo de espera en parada: 5 minutos. Costo de viaje: \$ 4 . Cuadras caminadas en origen más destino (total): 6.
- Ninguno de los anteriores.

Se estimaron modelos de elección discreta relacionados a los viajes al trabajo, habiéndose procesado 29 encuestas completas de 18 escenarios cada una, lo que implicó un total de 87 encuestados que respondieron 6 escenarios cada uno y un total de 522 observaciones (o casos) para realizar la estimación de modelos de elección discreta. Los principales resultados obtenidos de la modelación con los datos de la encuesta piloto fueron publicados en Sartori (2010). Los datos recopilados no relevaron usuarios con motocicleta disponible en el hogar, razón por la cual el modelo estimado no consideró a la motocicleta como un modo de transporte disponible para elegir, quedando incluido dentro de la opción “Ninguno de los anteriores”.

7. Encuesta definitiva de elección de modo de transporte para viajar al trabajo y de preferencias por tenencia de vehículo particular en la Ciudad de Córdoba.

A partir de lo expuesto en las secciones anteriores y siguiendo a McFadden (1980), resulta claro que la metodología a aplicar debe considerar que:

1. El objetivo de investigación debe ser la realización de pronósticos del comportamiento de los consumidores. Con respecto a este punto, se ha enunciado como objetivo general de esta investigación: "La aplicación de la teoría econométrica de modelos de elección discreta al diseño de encuestas, el relevamiento y la estimación de modelos de demanda de transporte urbano de pasajeros, utilizando datos de preferencias declaradas".
2. La teoría económica del consumidor racional que maximiza utilidad, interpretada ampliamente de manera de admitir los efectos de la percepción. Cabe señalar, que se ha expuesto la teoría de la maximización de la utilidad aleatoria, como base de la teoría econométrica a aplicar y considerando modelos de elección discreta que cumplen con los requisitos de la misma, entre ellos: el modelo logit multinomial, el modelo logit anidado y los modelos mixtos que permiten considerar la heterogeneidad de las preferencias de los consumidores y la existencia de correlación serial en las encuestas de preferencias declaradas.
3. El núcleo de la investigación deberá ser una ecuación de comportamiento de mercado, consistente con la teoría económica del consumidor, que especifica las probabilidades de elección como una función del ambiente económico del consumidor que incluya atributos mensurables y precios de las alternativas de elección y características socioeconómicas de los individuos. En este sentido, se han expuesto además de los modelos básicos señalados en el punto anterior, una breve reseña de las metodologías econométricas de estimación conjunta con datos de preferencias reveladas y preferencias declaradas, cuya combinación sirve a los efectos de lograr mejores pronósticos del comportamiento de los consumidores haciendo uso de las virtudes de ambos tipos de datos.
4. Deberán integrarse el diseño muestral, la construcción de cuestionarios, la especificación de modelos de comportamiento de los consumidores y los métodos econométricos de análisis. En la sección 5.5 se han expuesto los conceptos fundamentales de diseño de experimentos de elección, construcción de cuestionarios y diseño muestral coherentes con los modelos de elección discreta a estimar.

Siguiendo estos lineamientos metodológicos, esta investigación se basó en:

1. La toma de una muestra representativa de los trabajadores de la ciudad de Córdoba.
2. El diseño y relevamiento de un cuestionario de origen y destino de viajes que servirá para obtener una base de datos de preferencias reveladas.
3. El diseño y relevamiento de un cuestionario de escenarios de elección de modo de transporte para realizar viajes del hogar al trabajo, basado en experimentos D-eficientes.
4. La estimación de modelos de elección discreta de modo de transporte para viajar al trabajo, a saber: logit multinomial, logit anidado y logit multinomial mixto que capture correlación serial debida a las múltiples respuestas que se obtienen de cada entrevistado.
5. La estimación de modelos de elección conjunta de modo de transporte y tenencia de automóvil y motocicleta.

A continuación se presenta el diseño e implementación de la encuesta de preferencias declaradas realizada.

7.1. Diseño e implementación de la encuesta de preferencias declaradas

El diseño del experimento de elección de modo de transporte consideró seis alternativas de elección: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial (un autobús de mayor calidad) y la opción de “no elección”. Los atributos considerados fueron: tiempo de viaje, costo de viaje, tiempo de espera para las alternativas de transporte público (taxi, autobús y autobús diferencial), costos de estacionamiento (para autos y motocicletas) y distancia de caminata en origen y destino (para ambos tipos de autobús). En el diseño, todos los atributos se incorporaron como específicos para cada una de las alternativas.

La encuesta se realizó en dos etapas. En una primera etapa se realizó una encuesta de hogares (ver Anexo 1) donde se relevó información sobre el modo de viaje al trabajo de los trabajadores del hogar, complementado con variables socio-demográficas, por ejemplo: número de personas en el hogar, número de trabajadores en el hogar, número y tipo de vehículos de propiedad del hogar, disponibilidad de conexión a internet, direcciones de e-mail y número telefónico. La sección relacionada a los viajes realizados en la actualidad fue similar a una encuesta de origen y destino de viajes. También se preguntó la disposición de los trabajadores del hogar a participar en el experimento de elección de preferencias declaradas por internet o por medio de una entrevista personal en el hogar asistida por computadora en el caso de no disponibilidad de conexión a internet o dirección de email.

Una vez que se relevaron las direcciones de e-mail en los hogares, se enviaron correos electrónicos invitando a participar en la encuesta de preferencias declaradas por internet.

La Tabla 4 presenta los atributos y niveles utilizados en el diseño del experimento de elección.

Los niveles de los atributos se determinaron considerando las actuales condiciones experimentadas por la población de Córdoba. El rango de variación en los niveles de los atributos se diseñó considerando la experiencia de los entrevistados, tratando de expandir su rango de variación tanto como fuera posible sin perder realismo. En este sentido, además se produjeron cinco diseños de experimentos para viajes urbanos de diferentes distancias, a saber: 2,5 km; 5 km; 10 km; 15 km; 20 km y 25 km. Por lo tanto, los escenarios de elección presentados a cada uno de los entrevistados se corresponden con la distancia usual de viaje al trabajo del entrevistado. Cada entrevistado fue asignado a uno de los diseños de acuerdo al tiempo de viaje del hogar al trabajo reportado y a velocidades promedio de viaje supuestas según la evidencia existente en la Ciudad de Córdoba para el modo de transporte utilizado.

También se consideró específicamente la disponibilidad de alternativas de transporte que poseía cada entrevistado, al igual que en la encuesta piloto se utilizaron diferentes modelos de diseño derivados de la diferente disponibilidad de alternativas consideradas (Ver Tabla 5).

Se consideró que existe total disponibilidad de los modos de transporte público y aunque en la realidad muchas personas no poseen una línea de autobús diferencial con recorrido cercano a su hogar, se consideró razonable pensar que en un futuro cercano podrán tener este servicio disponible dado que las autoridades de planificación del transporte urbano municipal podrían promover este servicio de comprobarse preferencias de los usuarios al uso del mismo. Adicionalmente, todos los ciudadanos conocen el tipo de servicio del que se trata dado que existen cinco líneas en operación en la actualidad. Por lo tanto, el diseño del experimento de elección considera todas las alternativas de transporte público como disponibles o potencialmente disponibles.

Tabla 4: Niveles de los atributos del experimento de elección

Distancia de viaje del hogar al trabajo: 2,5 km														
Modo de transporte	Tiempo de viaje (minutos)		Tiempo de espera (minutos)			Costo de viaje			Cuadras caminadas en origen y destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil	4	10				\$ 1,25		\$ 2,50				\$ 0	\$ 10	\$ 20
Motocicleta	6	10				\$ 0,50		\$ 1,00				\$ 0	\$ 5	\$ 10
Taxi	4	8	5	10	15	\$ 5,00	\$ 7,00	\$ 9,00						
Autobús	8	12	10	20	30	\$ 2,50	\$ 3,50	\$ 4,50	2	4	6			
Diferencial	5	8	5	10	15	\$ 5,00	\$ 7,00	\$ 9,00	2	4	6			
Distancia de viaje del hogar al trabajo: 5 km														
Modo de transporte	Tiempo de viaje (minutos)		Tiempo de espera (minutos)			Costo de viaje			Cuadras caminadas en origen y destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil	8	12				\$ 2,50	\$ 4,00	\$ 5,00				\$ 0	\$ 10	\$ 20
Motocicleta	8	12				\$ 1,00	\$ 1,60	\$ 2,00				\$ 0	\$ 5	\$ 10
Taxi	8	12	5	10	15	\$ 10,00	\$ 14,00	\$ 18,00						
Autobús	12	18	24	10	20	30	\$ 2,50	\$ 3,50	\$ 4,50	2	4	6		
Diferencial	12	18	5	10	15	\$ 5,00	\$ 7,00	\$ 9,00	2	4	6			
Distancia de viaje del hogar al trabajo: 10 km														
Modo de transporte	Tiempo de viaje (minutos)		Tiempo de espera (minutos)			Costo de viaje			Cuadras caminadas en origen y destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil	15	20	25				\$ 5,00	\$ 10,00				\$ 0	\$ 10	\$ 20
Motocicleta	15	20	25				\$ 2,00	\$ 4,00				\$ 0	\$ 5	\$ 10
Taxi	15	20	25	5	10	15	\$ 18,00	\$ 23,00	\$ 28,00					
Autobús	25	35	45	10	20	30	\$ 2,50	\$ 3,50	\$ 4,50	2	4	6		
Diferencial	20	25	30	5	10	15	\$ 5,00	\$ 7,00	\$ 9,00	2	4	6		
Distancia de viaje del hogar al trabajo: 15 km														
Modo de transporte	Tiempo de viaje (minutos)		Tiempo de espera (minutos)			Costo de viaje			Cuadras caminadas en origen y destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil	20	25	30				\$ 7,50	\$ 15,00				\$ 0	\$ 10	\$ 20
Motocicleta	20	25	30				\$ 3,00	\$ 6,00				\$ 0	\$ 5	\$ 10
Taxi	20	25	30	5	10	15	\$ 30,00	\$ 35,00	\$ 40,00					
Autobús	35	45	60	10	20	30	\$ 2,50	\$ 3,50	\$ 4,50	2	4	6		
Diferencial	30	38	45	5	10	15	\$ 5,00	\$ 7,00	\$ 9,00	2	4	6		

Tabla 4: Niveles de los atributos del experimento de elección (continuación)

Distancia de viaje del hogar al trabajo: 20 km															
Modo de transporte	Tiempo de viaje (minutos)			Tiempo de espera (minutos)			Costo de viaje			Cuadras caminadas en origen y destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil	29	33	39				\$ 10,00		\$ 20,00				\$ 0	\$ 10	\$ 20
Motocicleta	29	33	39				\$ 4,00		\$ 8,00				\$ 0	\$ 5	\$ 10
Taxi	29	33	39	5	10	15	\$ 35,00	\$ 42,00	\$ 49,00						
Autobús	46	57	75	10	20	30	\$ 2,50	\$ 3,50	\$ 4,50	2	4	6			
Diferencial	41	48	55	5	10	15	\$ 5,00	\$ 7,00	\$ 9,00	2	4	6			

Distancia de viaje del hogar al trabajo: 25 km															
Modo de transporte	Tiempo de viaje (minutos)			Tiempo de espera (minutos)			Costo de viaje			Cuadras caminadas en origen y destino			Costo de estacionamiento diario		
Automóvil	35	40	45				\$ 12,50		\$ 25,00				\$ 0	\$ 10	\$ 20
Motocicleta	35	40	45				\$ 5,00		\$ 10,00				\$ 0	\$ 5	\$ 10
Taxi	35	40	45	5	10	15	\$ 42,00	\$ 50,00	\$ 58,00						
Autobús	56	68	88	10	20	30	\$ 2,50	\$ 3,50	\$ 4,50	2	4	6			
Diferencial	50	58	68	5	10	15	\$ 5,00	\$ 7,00	\$ 9,00	2	4	6			

Fuente: Elaboración propia en base a Sartori (2010).

Tabla 5

Diseños basados en la disponibilidad de alternativas

Diseño	Alternativas disponibles				
Modelo 1 – Todas las alternativas disponibles (Con automóvil y motocicleta en el hogar)	Automóvil	Motocicleta	Taxi	Autobús	Autobús diferencial
Modelo 2 (Sin automóvil en el hogar)		Motocicleta	Taxi	Autobús	Autobús diferencial
Modelo 3 (Sin motocicleta en el hogar)	Automóvil		Taxi	Autobús	Autobús diferencial
Modelo 4 (Sin automóvil ni motocicleta en el hogar)			Taxi	Autobús	Autobús diferencial

Nota: El diseño final utilizado en la encuesta fue un modelo promedio de los cuatro modelos de este cuadro.

Algunos valores de los parámetros previos utilizados se determinaron a partir de los resultados obtenidos con la encuesta piloto realizada y otros valores previos se supusieron considerando valores sensatos de acuerdo a la valoración del ahorro de tiempos de viaje y de espera resultante. Los valores previos considerados se presentan en la Tabla 6.

Las funciones de utilidad especificadas para el diseño del experimento de elección considerando parámetros específicos fueron:

$$\begin{aligned}
V(\text{Auto}) &= CEA_{\text{auto}} + B_{TV_{\text{auto}}} \cdot TV_{\text{auto}} + B_{CV_{\text{auto}}} \cdot CV_{\text{auto}} + B_{CE_{\text{auto}}} \cdot CE_{\text{auto}} \\
V(\text{Motocicleta}) &= CEA_{\text{moto}} + B_{TV_{\text{moto}}} \cdot TV_{\text{moto}} + B_{CV_{\text{moto}}} \cdot CV_{\text{moto}} + B_{CE_{\text{moto}}} \cdot CE_{\text{moto}} \\
V(\text{Taxi}) &= CEA_{\text{taxi}} + B_{TV_{\text{taxi}}} \cdot TV_{\text{taxi}} + B_{CV_{\text{taxi}}} \cdot CV_{\text{taxi}} + B_{TE_{\text{taxi}}} \cdot TE_{\text{taxi}} \\
V(\text{Autobús}) &= CEA_{\text{bus}} + B_{TV_{\text{bus}}} \cdot TV_{\text{bus}} + B_{CV_{\text{bus}}} \cdot CV_{\text{bus}} + B_{TE_{\text{bus}}} \cdot TE_{\text{bus}} + B_{CC_{\text{bus}}} \cdot CC_{\text{bus}} \\
V(\text{Diferencial}) &= CEA_{\text{dif}} + B_{TV_{\text{dif}}} \cdot TV_{\text{dif}} + B_{CV_{\text{dif}}} \cdot CV_{\text{dif}} + B_{TE_{\text{dif}}} \cdot TE_{\text{dif}} + B_{CC_{\text{dif}}} \cdot CC_{\text{dif}} \\
V(\text{NE}) &= CEA_{\text{ne}}
\end{aligned}$$

Los parámetros denominados CEA se refieren a las constantes específicas de la alternativa considerada, los denominados B_{TV} son los parámetros asociados a la variable Tiempo de Viaje (TV) de cada alternativa, los denominados B_{CV} están asociados a la variable Costo de Viaje (CV) de cada alternativa, los denominados B_{CE} están asociados a la variable Costo de Estacionamiento (CE), los denominados B_{TE} están asociados a la variable Tiempo de Espera (TE) y los denominados B_{CC} a la variable Cuadras Caminadas en origen y destino (CC).

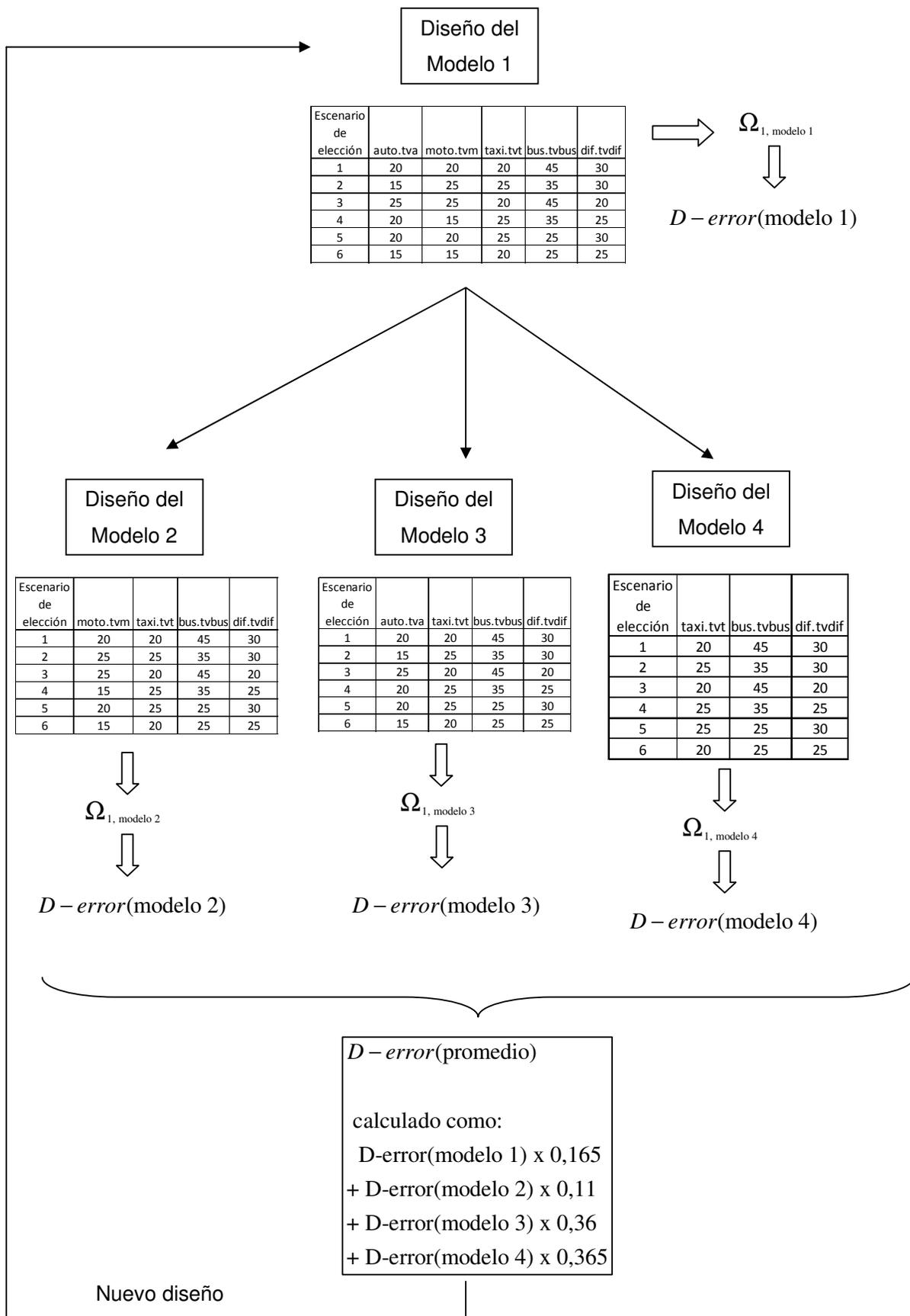
Tabla 6
Valores previos utilizados en el diseño del experimento

Alternativa	Coficiente	Valor previo	Alternativa	Coficiente	Valor previo
<i>Auto</i>	CEA_{auto}	-0,425	<i>Motocicleta</i>	CEA_{moto}	-2,5
	$B_{TV_{\text{auto}}}$	-0,0305		$B_{TV_{\text{moto}}}$	-0,0305
	$B_{CV_{\text{auto}}}$	-0,05		$B_{CV_{\text{moto}}}$	-0,05
	$B_{CE_{\text{auto}}}$	-0,227		$B_{CE_{\text{moto}}}$	-0,227
<i>Taxi</i>	CEA_{taxi}	-1,5	<i>Autobús</i>	CEA_{bus}	0
	$B_{TV_{\text{taxi}}}$	-0,03		$B_{TV_{\text{bus}}}$	-0,025
	$B_{CV_{\text{taxi}}}$	-0,16		$B_{CV_{\text{bus}}}$	-0,44
	$B_{TE_{\text{taxi}}}$	-0,06		$B_{TE_{\text{bus}}}$	-0,0584
<i>Autobús diferencial</i>	CEA_{dif}	-2,77	<i>Otro modo (opción de no elección)</i>	$B_{CC_{\text{bus}}}$	-0,166
	$B_{TV_{\text{dif}}}$	-0,012		CEA_{ne}	-3,51
	$B_{CV_{\text{dif}}}$	-0,012			
	$B_{TE_{\text{dif}}}$	-0,0241			
	$B_{CC_{\text{dif}}}$	-0,166			

Fuente: Elaboración propia en base a Sartori (2010).

Para interrelacionar las preferencias por tenencia de vehículo privado (automóvil o motocicleta) y las elecciones de modo de transporte para viajar al trabajo y ahorrar tiempo de trabajo, se generó un diseño eficiente promedio con el software Ngene (Choicemetrics, 2009; Rose, et al., 2009) considerando los cuatro modelos descritos en la Tabla 5 relacionados a las cuatro categorías definidas según la disponibilidad de alternativas, utilizando como ponderadores las participaciones muestrales de cada tipo de modelo a partir de los datos recopilados en el 25% de los casos de la encuesta de hogares realizada. Considerando una distancia de viaje de 10 km, a continuación se presenta el Esquema 1, que muestra la metodología de cálculo iterativo del diseño eficiente promedio:

Esquema 1: Metodología de cálculo del diseño eficiente promedio



Este esquema muestra los cuatro diseños de experimento de los diferentes modelos relacionados a la disponibilidad de alternativas: Modelo 1 (con todas las alternativas disponibles), Modelo 2 (sin automóvil en el hogar), Modelo 3 (sin motocicleta en el hogar) y Modelo 4 (sin automóvil ni motocicleta en el hogar). Los diseños contienen seis escenarios de elección y un atributo de tiempo de viaje para cada una de las alternativas disponibles. Como puede apreciarse, cada modelo genera su propia matriz de varianza-covarianza asintótica para el modelo logit multinomial a estimar y la selección del experimento a utilizar en la encuesta de preferencias declaradas se realiza en función del D-error promedio mínimo encontrado. La particularidad de esta aplicación de este tipo de diseño eficiente promedio es que la matriz del Modelo 1, aquél que contiene todas las alternativas disponibles, es la misma que se utiliza en los demás modelos, eliminando los atributos de las alternativas no disponibles en cada caso.

En el Anexo 2 se presentan las sintaxis para generación con Ngene de cuatro diseños D-eficientes convencionales y del diseño D-eficiente promedio según disponibilidad de alternativas, para una distancia de viaje de 10 km. De esta manera, se utilizó el mismo diseño para aquellas personas que realizan viajes al trabajo de la misma distancia cualquiera sea su categoría de tenencia de vehículo, es decir, que poseen alguno de los vehículos privados (automóvil o motocicleta) considerados, ambos o ninguno. La principal razón para usar el diseño promedio es que permite relevar respuestas de elección de modo de transporte considerando la disponibilidad de vehículo y con el mismo diseño relevar respuestas sobre la preferencia de compra de vehículo privado como una decisión derivada de cambios de los niveles de servicio de los modos de transporte. En el Anexo 3, se incluyen las salidas de los seis diseños D-eficientes relacionados a las diferentes distancias de viaje, que se utilizaron para diseñar la encuesta de preferencias declaradas implementada.

Por otra parte, esta metodología ahorró tiempo de trabajo en el procesamiento para la obtención de los diseños experimentales y tiempo de carga de los niveles de los atributos en el sistema web de encuestas. Así, si se generaran diseños D-eficientes convencionales para cada una de las combinaciones de las seis categorías de distancia de viaje y las cuatro categorías de disponibilidad de alternativas, habría que generar veinticuatro diseños D-eficientes (correspondientes a las seis categorías de distancias de viaje para cada uno de las cuatro categorías o modelos según disponibilidad de alternativas)⁵³, al generar sólo seis diseños (relacionados a las seis distancias de viaje) D-eficientes promedio de las cuatro categorías de disponibilidad de alternativas se ahorra tiempo de procesamiento en la

⁵³ Esta fue la metodología empleada en la encuesta piloto realizada.

generación de los modelos, a razón de un día por modelo D-eficiente generado con el software Ngene se ahorran dieciocho días de procesamiento en la generación de los diseños. Además, se ahorra tiempo en la construcción de los escenarios de la encuesta web, al tener que transcribir los cuadros de atributos y sus niveles solo seis veces en lugar de veinticuatro.

Adicionalmente, en el diseño del experimento se ha chequeado la medida de S-optimalidad propuesta por Bliemer y Rose (2005b)⁵⁴, derivada del diseño del experimento. Con los valores de los parámetros previos especificados, las medidas S_p (con un 5% de nivel de significación) fueron siempre mayores que el mínimo tamaño muestral derivado de la muestra aleatoria exógena estratificada geográficamente (o por conglomerados geográficos) diseñada, por lo que se restringió el número de niveles para algunos atributos y se amplió el rango de los niveles para minimizar el tamaño muestral mínimo teórico requerido para la estimación eficiente de los parámetros, dados los valores previos. A continuación y como ejemplo de lo afirmado, en la Tabla 7 se presentan los resultados del tamaño muestral mínimo para cada uno de los parámetros a estimar a partir de los parámetros previos establecidos (correspondiente a un 5% de nivel de significación del parámetro a estimar) en el modelo logit multinomial con parámetros específicos, para un viaje de 10 km y para los diferentes diseños según modelo relacionado con la disponibilidad de alternativas. Cabe señalar, que la Tabla 7 se confeccionó con los resultados que se encuentran expuestos en el Anexo 3 (Resultado 3), donde aparece el resultado del diseño del experimento obtenido de Ngene. Como puede apreciarse, con el diseño D-eficiente promedio obtenido y considerando la medida S_p de tamaño muestral mínimo necesario, sería necesario contar con un tamaño muestral mínimo de 87,33 encuestas en el modelo 1 y de 82,54 encuestas en el modelo 3 para obtener un parámetro específico estimado de la variable tiempo de viaje en automóvil eficiente en relación al parámetro previo especificado (al 5% de nivel de significación). En el caso del parámetro específico relacionado a la variable "Tiempo de viaje en colectivo (autobús) diferencial" sería necesario contar con un tamaño muestral mínimo de 1032 encuestas para el modelo 1, de 830 encuestas para el modelo 2, de 920 encuestas para el modelo 3 y de 718 encuestas para el modelo 4. Debido a que estos últimos tamaños muestrales mínimos son los mayores para los diferentes modelos especificados, el tamaño muestral mínimo necesario para estimar todos los parámetros específicos de manera eficiente es el mayor de ellos, de 1032 encuestas.

⁵⁴ Este tamaño muestral mínimo teórico es el presentado en la sección 5.3.3. relacionado a los diseños S-eficientes.

Tabla 7

Estimadores S_p de tamaño muestral mínimo para la estimación de un modelo logit multinomial con parámetros específicos (considerando los parámetros previos establecidos y un nivel de significación del 5%) - Diseño D-eficiente promedio para viajes de 10 km

		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Parámetro Previo	Valor del parámetro previo	Tamaño muestral mínimo (S_p)			
B_{TV_auto}	-0,0305	87,33	---	82,54	---
B_{CV_auto}	-0,05	101,28	---	99,43	---
B_{CE_auto}	-0,227	0,70	---	0,73	---
B_{TV_moto}	-0,0305	121,59	87,10	---	---
B_{CV_moto}	-0,05	884,86	606,28	---	---
B_{CE_moto}	-0,227	2,70	2,18	---	---
B_{TV_taxi}	-0,03	457,63	358,41	407,67	300,78
B_{TE_taxi}	-0,06	115,75	92,12	101,70	76,99
B_{CV_taxi}	-0,16	27,48	21,01	23,23	16,72
B_{TV_bus}	-0,025	42,16	32,40	37,65	27,60
B_{TE_bus}	-0,0584	8,15	6,29	7,41	5,59
B_{CV_bus}	-0,44	13,73	10,04	12,47	8,65
B_{CC_bus}	-0,166	23,67	16,90	21,65	14,59
B_{TV_dif}	-0,012	1031,38	829,73	919,88	717,62
B_{TE_dif}	-0,0241	304,91	217,90	270,71	182,63
B_{CV_dif}	-0,14	48,24	39,95	43,64	35,26
B_{CC_dif}	-0,166	39,42	30,83	33,90	25,29

Con los mismos diseños D-eficiente promedio anteriores, se evaluaron los tamaños muestrales mínimos (S_p) estimados para el diseño del modelo logit multinomial con coeficientes genéricos y como se esperaba, los tamaños muestrales mínimos (S_p) se redujeron significativamente en relación al modelo con parámetros específicos. De todas maneras, se utilizó el diseño D-eficiente derivado con parámetros específicos dado que también permite estimar el modelo con parámetros genéricos. En el Anexo 4 se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas (en relación a las medidas eficiencia) de cada uno de los seis diseños D-eficientes promedio para estimar el modelo logit multinomial con parámetros genéricos a partir del diseño original obtenido para la estimación de un modelo logit multinomial con parámetros específicos.

A continuación, a modo de ejemplo, en la Tabla 8 se presentan los resultados del tamaño muestral mínimo para cada uno de los parámetros genéricos a estimar en el modelo logit multinomial a partir de los parámetros previos establecidos (con un 5% de nivel de significación de cada parámetro a estimar), para un viaje de 10 km y para los diferentes diseños según el modelo relacionado con la disponibilidad de alternativas. Esta última tabla presentada se confeccionó a partir de los resultados que se encuentran expuestos en el Anexo 4 (Resultado 3), donde aparece el resultado de la evaluación realizada con Ngene sobre cada uno de los diseños experimentales originales. Como puede apreciarse, con el diseño D-eficiente promedio obtenido para el modelo original con parámetros específicos y considerando la medida Sp de tamaño muestral mínimo necesario para estimar un modelo logit multinomial con parámetros genéricos, sería necesario contar con un tamaño muestral mínimo de 12,29 encuestas en el modelo 1, de 12,03 encuestas en el modelo 2, de 12,54 encuestas en el modelo 3 y de 13,90 encuestas en el modelo 4 para obtener una estimación eficiente del parámetro genérico asociado a la variable “Tiempo de Viaje” en relación al parámetro previo especificado (con un 5% de nivel de significación). En el caso del parámetro específico relacionado a la variable “Costo de viaje” sería necesario contar con un tamaño muestral mínimo de 25,36 encuestas para el modelo 1, de 27,39 encuestas para el modelo 2, de 25,02 encuestas para el modelo 3 y de 11,14 encuestas para el modelo 4. Debido a que estos últimos tamaños muestrales mínimos son los mayores para los diferentes modelos especificados, el tamaño muestral mínimo necesario para estimar todos los parámetros genéricos de manera eficiente es el mayor de ellos, de 27,39 encuestas.

Tabla 8

Estimadores Sp de tamaño muestral mínimo para la estimación de un modelo logit multinomial con parámetros genéricos (considerando los parámetros previos establecidos y un nivel de significación del 5%) - Diseño D-eficiente promedio para viajes de 10 km

		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Parámetro Previo	Valor del parámetro previo	Tamaño muestral mínimo (Sp)			
B _{TV}	-0,0305	12,29	12,03	12,54	13,90
B _{CV}	-0,05	25,36	27,39	25,02	11,14
B _{CE}	-0,227	0,72	3,29	0,82	---
B _{TE}	-0,06	3,68	3,20	3,50	3,60
B _{CC}	-0,166	13,04	10,99	12,48	10,83

Por otra parte, el diseño experimental consideró un total de 18 escenarios de elección divididos en tres bloques, de manera de presentar seis escenarios de elección a cada entrevistado.

El cuestionario fue diseñado usando la plataforma web de la Universidad Nacional de Córdoba, basada en el programa Limesurvey.

En las Figuras 10.a a 10.d, se presentan cuatro ejemplos de situaciones de elección hipotética presentadas a los encuestados según su disponibilidad de alternativas de elección y para una distancia entre su hogar y su trabajo de 10 kms. Puede apreciarse que en la primera parte, se pregunta al encuestado sobre su preferencia por elección de modo de transporte en dos situaciones diferentes: en un día con lluvia y en un día sin lluvia, a los efectos de investigar en futuros desarrollos si existen diferencias significativas en la elección de los consumidores en estas diferentes situaciones climáticas.

Además, en esta primera parte del escenario de elección de modo de transporte, para un encuestado que no poseen automóvil disponible no se presenta la opción “automóvil” como alternativa de transporte disponible. Para un encuestado que no posea motocicleta, no aparece este modo de transporte como opción para viajar al trabajo. Para aquellos que no poseen automóvil ni motocicleta, ninguno de estos dos modos de transporte aparecen como disponibles para que realice su elección en el escenario.

Asimismo, en cada escenario de la encuesta de preferencias declaradas se incluye una segunda pregunta relacionada con la preferencia de cada trabajador que no posea vehículo en el hogar (automóvil o motocicleta) por comprar uno de estos vehículos en los próximos seis meses, como resultado de la inspección del escenario de elección presentado antes y de los atributos de la alternativa de vehículo privado que actualmente no posee, debiendo considerar además que se mantienen sus actuales niveles de ingreso. De esta manera, estas respuestas quedan unívocamente relacionadas con los niveles que asumen los atributos de las alternativas de elección de modo de transporte disponible presentadas en cada situación de elección, es decir, con el mismo diseño experimental promedio se ha capturado la preferencia por el modo de viaje al trabajo condicionado por las alternativas disponibles y las preferencias por tenencia de vehículo privado relacionadas con los niveles de servicio de los modos de transporte.

La aplicación de esta metodología propuesta de doble respuesta (elección de modo de transporte y preferencia por tenencia de vehículo) basada en el diseño experimental de preferencias declaradas permitió aprovechar las ventajas del experimento D-eficiente promedio en relación al ahorro de tiempo de trabajo en el procesamiento para la obtención de los diseños experimentales y de tiempo de carga de los niveles de los atributos en el

sistema web de encuesta. Debe recordarse que en la encuesta piloto se diseñó un experimento de elección para cada una de las veintiocho combinaciones de (cuatro) conjuntos de alternativas de elección disponibles por parte del entrevistado y (siete) categorías de distancia de viaje que fueron: 2,5 km; 5 km; 10 km; 15 km; 20 km; 25 km y 30 km. En la implementación de esta encuesta, se diseñaron sólo seis experimentos de elección D-eficientes promedio, relacionados a las mismas distancias de viaje anteriores exceptuando la de 30 km dado que en la encuesta piloto los viajes al trabajo de esta distancia resultaron prácticamente inexistentes en el contexto urbano.

La modelación conjunta de la elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular consideró, entonces, los atributos de elección de modo como determinantes de ambas decisiones, configurando un modelo de demanda que permitirá pronosticar no sólo la proporción de viajes a realizar en los diferentes modos de transporte sino también la propensión a disponer o comprar vehículo en el hogar ante diferentes políticas que impliquen cambios en los niveles de servicio de los modos de transporte disponibles.

Por lo tanto y a modo de resumen, la encuesta realizada contiene dos partes esenciales, una primera parte de recopilación de las características socio-demográficas de los entrevistados, junto con preferencias reveladas del viaje habitual al trabajo (el último viaje realizado al trabajo). La segunda parte contiene la encuesta de preferencias declaradas que le corresponde a cada entrevistado según su disponibilidad de modos de transporte para realizar viajes al trabajo, respondiendo primero en relación a su elección de modo de transporte e inmediatamente a continuación su preferencia por tenencia de vehículo considerando los atributos de todos los modos de transporte existentes, disponibles y no disponibles, en el experimento de elección.

Figura 10.a: Escenario de elección de modo de transporte (Con automóvil y motocicleta en el hogar)

Escenario de elección N° 1:

Analice atentamente cada uno de los medios de transporte que aparecen para que Ud. viaje de su hogar al trabajo, suponga que los medios de transporte están DISPONIBLES y que las características presentadas son CIERTAS, luego elija el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo.

	Automóvil	Motocicleta	Taxi o Remis	Colectivo Común	Colectivo Diferencial
Tiempo de Viaje	25 minutos	25 minutos	20 minutos	45 minutos	20 minutos
Costo de Viaje	\$ 10	\$ 4	\$ 28	\$ 2.50	\$ 9
Costo de Estacionamiento	\$ 10 por día	\$ 5 por día	---	---	---
Tiempo de Espera	---	---	10 minutos	20 minutos	5 minutos
Cuadras Caminadas en Origen más Destino	---	---	---	2 cuadras	4 cuadras

*** Seleccione el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo:**

	Automóvil particular (conductor).	Automóvil particular (acompañante).	Motocicleta.	Taxi o remis.	Colectivo Común.	Colectivo Diferencial.	Ninguno de los anteriores.
ELECCIÓN EN DÍA SIN LLUVIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ELECCIÓN EN DÍA CON LLUVIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

[\[Salir y reiniciar el cuestionario\]](#)

Figura 10.b: Escenario de elección de modo de transporte (Sin automóvil en el hogar)

Escenario de elección N° 1:

Analice atentamente cada uno de los medios de transporte que aparecen para que Ud. viaje de su hogar al trabajo, suponga que los medios de transporte están DISPONIBLES y que las características presentadas son CIERTAS, luego elija el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo.

	Motocicleta	Taxi o Remis	Colectivo Común	Colectivo Diferencial
Tiempo de Viaje	25 minutos	20 minutos	45 minutos	20 minutos
Costo de Viaje	\$ 4	\$ 28	\$ 2.50	\$ 9
Costo de Estacionamiento	\$ 5 por día	---	---	---
Tiempo de Espera	---	10 minutos	20 minutos	5 minutos
Cuadras Caminadas en Origen más Destino	---	---	2 cuadras	4 cuadras

*** Seleccione el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo:**

	Motocicleta.	Taxi o remis.	Colectivo Común.	Colectivo Diferencial.	Ninguno de los anteriores.
ELECCIÓN EN DÍA SIN LLUVIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ELECCIÓN EN DÍA CON LLUVIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*** Considerando las características de la tabla anterior y su nivel de ingreso actual, ¿Compraría un auto en los próximos 6 meses, si el tiempo de viaje fuera de 25 minutos, el costo de viaje de \$10 y el costo de estacionamiento de \$10 por día?**

Sí
 No

[\[Salir y reiniciar el cuestionario\]](#)

Figura 10.c.: Escenario de elección de modo de transporte (Sin motocicleta en el hogar)

Escenario de elección N° 1:

Analice atentamente cada uno de los medios de transporte que aparecen para que Ud. viaje de su hogar al trabajo, suponga que los medios de transporte están DISPONIBLES y que las características presentadas son CIERTAS, luego elija el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo.

	Automóvil	Taxi o Remis	Colectivo Común	Colectivo Diferencial
Tiempo de Viaje	25 minutos	20 minutos	45 minutos	20 minutos
Costo de Viaje	\$ 10	\$ 28	\$ 2.50	\$ 9
Costo de Estacionamiento	\$ 10 por día	---	---	---
Tiempo de Espera	---	10 minutos	20 minutos	5 minutos
Cuadras Caminadas en Origen más Destino	---	---	2 cuadras	4 cuadras

*** Seleccione el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo:**

	Automóvil particular (conductor).	Automóvil particular (acompañante).	Taxi o remis.	Colectivo Común.	Colectivo Diferencial.	Ninguno de los anteriores.
ELECCIÓN EN DÍA SIN LLUVIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ELECCIÓN EN DÍA CON LLUVIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*** Considerando las características de la tabla anterior y su nivel de ingreso actual, ¿Compraría una moto en los próximos 6 meses, si el tiempo de viaje fuera de 25 minutos, el costo de viaje de \$ 4 y el costo de estacionamiento de \$5 por día?**

Sí
 No

[\[Salir y reiniciar el cuestionario\]](#)

Figura 10.d: Escenario de elección de modo de transporte (Sin automóvil y sin motocicleta en el hogar)

(10-M4-B1) Encuesta de preferencia de transporte

Gracias por participar de esta encuesta!. Con su colaboración, desde la Universidad Nacional de Córdoba podremos realizar análisis de políticas de planificación del transporte urbano en la Ciudad de Córdoba (Argentina).

0% 100%

Escenario de elección N° 1:

Analice atentamente cada uno de los medios de transporte que aparecen para que Ud. viaje de su hogar al trabajo, suponga que los medios de transporte están DISPONIBLES y que las características presentadas son CIERTAS, luego elija el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo.

	Taxi o Remis	Colectivo Común	Colectivo Diferencial
Tiempo de Viaje	20 minutos	45 minutos	20 minutos
Costo de Viaje	\$ 28	\$ 2.50	\$ 9
Costo de Estacionamiento	---	---	---
Tiempo de Espera	10 minutos	20 minutos	5 minutos
Cuadras Caminadas en Origen más Destino	---	2 cuadras	4 cuadras

*** Seleccione el medio de transporte que usaría para ir a su trabajo:**

	Taxi o remis.	Colectivo Común.	Colectivo Diferencial.	Ninguno de los anteriores.
ELECCIÓN EN DÍA SIN LLUVIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ELECCIÓN EN DÍA CON LLUVIA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*** Considerando las características de la tabla anterior y su nivel de ingreso actual, ¿Compraría un auto en los próximos 6 meses, si el tiempo de viaje fuera de 25 minutos, el costo de viaje de \$10 y el costo de estacionamiento de \$10 por día?**

Sí
 No

*** Considerando las características de la tabla anterior y su nivel de ingreso actual, ¿Compraría una moto en los próximos 6 meses, si el tiempo de viaje fuera de 25 minutos, el costo de viaje de \$ 4 y el costo de estacionamiento de \$5 por día?**

Sí
 No

[\[Salir y reiniciar el cuestionario\]](#)

Luego de responder los seis escenarios de elección, se incorporó una séptima pregunta para que el encuestado reporte los ingresos mensuales del hogar. En la Figura 11 se presenta esta pregunta realizada al final de la encuesta de preferencias declaradas.

Figura 11: Última pregunta de la encuesta de preferencias declaradas

(10-M1-B1) Encuesta de preferencia de transporte

Gracias por participar de esta encuesta. Con su colaboración, desde la Universidad Nacional de Córdoba, podremos realizar análisis de políticas de planificación del transporte urbano en la Ciudad de Córdoba (Argentina).

0% 100%

Pregunta N° 7:

Indique el nivel de ingresos promedio mensual de su hogar (en pesos) - Recuerde que esta información es confidencial y no será divulgada - Esta respuesta es opcional:

Elija solamente una entrada de las siguientes

- Menos de 2500 pesos mensuales.
- Entre \$ 2501 y \$ 4000 mensuales.
- Entre \$ 4001 y \$ 6000 mensuales.
- Entre \$ 6001 y \$ 10000 mensuales.
- Más de \$ 10000 mensuales.
- Sin respuesta

Guardar cuestionario y regresar << anterior último [Salir y reiniciar el cuestionario]

Para realizar el relevamiento, el diseño muestral se efectuó en dos etapas basadas en los hogares, dividiendo la población en 74 zonas geográficas que se corresponden con las fracciones poblacionales del Censo de Población del año 2001, seleccionando aleatoriamente un radio censal de cada una de las fracciones y luego una manzana dentro del radio seleccionado. La elección de hogares a encuestar en cada manzana seleccionada se realizó por medio de muestreo sistemático, tratando de completar al menos una encuesta por cada manzana seleccionada, teniendo como objetivo la realización de cinco encuestas por manzana.

Se recolectaron un total de 227 encuestas de hogares a partir de las cuales se obtuvieron 112 respuestas de encuestas de preferencias declaradas de trabajadores provenientes de 92 de esos hogares (en algunos hogares respondió más de un trabajador), cada trabajador respondió seis escenarios de elección. En consecuencia, se obtuvieron 672 casos para la estimación. Este tamaño muestral permite admitir un error de muestreo para la probabilidad

de uso de autobús⁵⁵ igual a 3,59% con un 95% de nivel de confianza, considerando el muestreo aleatorio simple, según la aplicación de la fórmula:

$$n \geq \frac{z^2 \cdot p \cdot q}{r \cdot e^2} = \frac{1,95996398^2 \cdot 0,3422 \cdot (1 - 0,3422)}{6 \cdot 0,0359^2} = 112$$

Cabe señalar, que no pudieron realizarse encuestas en todas las fracciones poblacionales previstas, razón por la cual se unieron fracciones contiguas a los efectos de calcular los ponderadores que se utilizan para realizar pronósticos, quedando determinadas finalmente un total de 42 fracciones censales.

Asimismo, se realizaron solo seis encuestas asistidas por computadora (con acceso móvil a internet 3G) en hogares que no poseían conexión de internet de banda ancha. Esta estrategia de relevamiento complementaria permitió realizar encuestas a personas analfabetas que de otro modo no hubieran integrado la muestra.

La base de datos quedó compuesta por las respuestas de 13 trabajadores pertenecientes al modelo 1 (con automóvil y motocicleta), 13 pertenecientes al modelo 2 (sin automóvil en el hogar), 60 pertenecientes al modelo 3 (sin motocicleta en el hogar) y 26 del modelo 4 (sin automóvil ni motocicleta en el hogar).

La base final de datos corresponde a 92 hogares, de los cuales se obtuvieron 112 respuestas de trabajadores a la sección de encuesta de preferencias declaradas. Con esta conformación de la base de datos, la cantidad de automóviles/hogar asciende a 0,8804 y la cantidad de motocicletas/hogar es igual a 0,3043, con lo cual existe una relación motocicletas/automóviles igual a 0,345 en la muestra. Según Marconetti (2009), la relación motocicletas/automóviles en la Ciudad de Córdoba ascendía a 0,393 en diciembre del año 2009. Este indicador (motocicletas/automóviles) ascendió a 0,2948 en la encuesta de origen y destino realizada en el año 2008, según información del Proyecto de Transporte Urbano para Áreas Metropolitanas (PTUMA) de la Secretaría de Transporte del Gobierno de la Nación Argentina. Por lo tanto, en virtud de estos indicadores de tenencia de vehículos en la Ciudad de Córdoba, la muestra parece representar razonablemente a la población bajo estudio.

⁵⁵ Las participaciones porcentuales de los distintos modos de transporte para viajes al trabajo obtenidos de la encuesta de origen y destino del año 2000 fueron: automóvil (30,71%), motocicleta (5,06%), taxi (5,95%), autobús (34,22%) y otros modos (24,06%). En el año 2000 no funcionaban líneas del servicio de autobús diferencial.

7.2. Características socioeconómicas de la muestra de trabajadores

La muestra de 112 trabajadores que respondieron la encuesta de preferencias declaradas estuvo integrada por 51 mujeres y 61 varones, es decir, un 45,5% de los trabajadores que integran la muestra corresponde a mujeres y un 55,5% corresponde a varones.

La distribución por tramos de edad de los encuestados se presenta en la Tabla 9 que sigue, en la que puede observarse que la mayor proporción de encuestados de la muestra corresponde a trabajadores con edades entre 26 y 35 años (36,61%); un 21,43% de los trabajadores encuestados poseen entre 18 y 25 años de edad; el mismo porcentaje de trabajadores encuestados posee entre 46 y 55 años de edad; un 2,68% de los trabajadores encuestados posee edades entre 56 y 65 años y un 1,79% corresponde a trabajadores con edades entre 66 y 70 años de edad.

Tabla 9

Distribución de los encuestados por tramos de edad

Tramos de edad	Número de encuestados	Porcentaje
De 18 a 25 años	24	21,43%
De 26 años a 35 años	41	36,61%
De 36 años a 45 años	24	21,43%
De 46 años a 55 años	18	16,07%
De 56 años a 65 años	3	2,68%
De 66 años a 70 años	2	1,79%
Total	112	100,00%

En la Tabla 10 se presenta la distribución de encuestados según su actividad o categoría de ocupación. La mayoría de los encuestados trabaja como empleado en el sector privado (59,82%), un 17,86% de los encuestados trabaja como empleado en el sector público, un 14,29% trabaja como autónomo, comerciante sin personal o profesional independiente. Existen además, 3 casos que trabajan como jefes o gerentes de empresas representando un 2,68% del total, 2 casos como patrón o dueño con hasta 4 empleados a cargo (1,79% del total) y 2 casos como patrón o dueño con entre 5 y 20 empleados a cargo (1,79% del total). También conforman la muestra un trabajador familiar sin remunerar y un individuo que reportó trabajar en otra categoría diferente a las especificadas en el formulario de la encuesta.

Tabla 10**Distribución de encuestados según categoría de ocupación**

Categoría de ocupación	Número de encuestados	Porcentaje
1 Empleado en el sector privado	67	59,82%
2 Empleado público	20	17,86%
3 Jefe o Gerente en empresa privada con empleados a cargo	3	2,68%
4 Patrón o dueño (1 a 4 empleados)	2	1,79%
5 Patrón o dueño (5 a 20 empleados)	2	1,79%
7 Autónomo / comerciante sin personal / profesional independiente	16	14,29%
9 Trabajador familiar sin remunerar	1	0,89%
12 Otros	1	0,89%
Total	112	100,00%

En la Tabla 11 que sigue se muestra la distribución de los encuestados según el tramo de ingresos reportado en la séptima pregunta de preferencias declaradas, en la cual se evidencia que el mayor porcentaje de encuestados (un 27,68%) posee ingresos mensuales del grupo familiar entre \$2.500 y \$4.000; porcentajes de entre 15% y 18% corresponden a las demás categorías de ingresos, a saber: menores a \$2.500, entre \$4.001 y \$6.000 y entre \$6.001 y \$10.000. Solo un 7,14% de los encuestados reportó un nivel de ingreso familiar mayor a \$10.000 mensuales y un 15,18% de los encuestados prefirió no brindar información relacionada al nivel de ingreso familiar.

Tabla 11**Distribución de los encuestados según tramo de ingreso**

Tramo de ingresos	Número de encuestados	Porcentaje
Menos de \$ 2.500 mensuales	19	16,96%
Entre \$ 2.501 y \$ 4.000 mensuales	31	27,68%
Entre \$ 4.001 y \$ 6.000 mensuales	17	15,18%
Entre \$ 6.001 y \$ 10.000 mensuales	20	17,86%
Más de \$ 10.000 mensuales	8	7,14%
Sin respuesta	17	15,18%
Total	112	100,00%

8. Estimaciones de modelos de elección de modo de transporte

8.1. Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo

En esta sección se presentan los resultados de la estimación de modelos de elección de modo de transporte para viajar al trabajo. Todas las estimaciones que serán presentadas se realizaron utilizando el software BIOGEME, de libre disponibilidad (Bierlaire, 2003, 2009). Las sintaxis de los programas para la estimación econométrica de los modelos se presentan en el Anexo 5. A los fines de posibilitar la replicación de las estimaciones realizadas, se presenta además el nombre de los archivos de sintaxis de cada modelo y de la base de datos que puede requerirse al autor.

En todos los modelos estimados en esta sección, la variable dependiente es la elección de modo de transporte declarada por los encuestados en la primera parte de cada escenario de elección, correspondiente a la respuesta para día sin lluvia, es decir, considerando para cada encuestado solamente los modos de transporte disponibles para viajar al trabajo.

La distribución de frecuencia de la variable dependiente del modelo se presenta a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12

Distribución de frecuencias de la variable dependiente de elección de modo de transporte

Modo de transporte	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
1 Automóvil	177	26,34%
2 Motocicleta	100	14,88%
3 Taxi	43	6,40%
4 Autobús	193	28,72%
5 Autobús diferencial	107	15,92%
6 Otro modo	52	7,74%
Total	672	100,00%

En primera instancia, se ha estimado un modelo logit multinomial cuyas funciones de utilidad determinísticas lineales-aditivas especificadas poseen como variables explicativas únicamente a las variables de nivel de servicio incluidas en el diseño del experimento de elección, además se ha especificado como un modelo con parámetros genéricos y queda como:

$$V(auto) = CEA_{auto} + \beta_{tv} \cdot tva + \beta_{cv} \cdot cva + \beta_{ce} \cdot cea$$

$$V(moto) = CEA_{moto} + \beta_{tv} \cdot tvm + \beta_{cv} \cdot cvm + \beta_{ce} \cdot cem$$

$$V(taxi) = CEA_{taxi} + \beta_{tv} \cdot tvt + \beta_{te} \cdot tet + \beta_{cv} \cdot cvt$$

$$V(bus) = CEA_{bus} + \beta_{tv} \cdot tvbus + \beta_{te} \cdot tebus + \beta_{cv} \cdot cvbus + \beta_{cc} \cdot ccbus$$

$$V(dif) = \beta_{tv} \cdot tvdif + \beta_{te} \cdot tedif + \beta_{cv} \cdot cvdif + \beta_{cc} \cdot ccdif$$

$$V(NE) = CEA_{NE}$$

El diagrama de elección del modelo especificado se corresponde con el de la Figura N° 1 presentada en la sección 5.2.1.

Las variables explicativas de las funciones de utilidad especificadas son:

tva: tiempo de viaje en automóvil.

cva: costo de viaje en automóvil.

cea: costo de estacionamiento diario del automóvil.

tvm: tiempo de viaje en motocicleta.

cvm: costo de viaje en motocicleta.

cem: costo de estacionamiento diario de motocicleta.

tvt: tiempo de viaje en taxi/remis

tet: tiempo de espera del taxi/remis.

cvt: costo de viaje del taxi/remis.

tvbus: tiempo de viaje en autobús.

tebus: tiempo de espera de autobús.

cvbus: costo de viaje de autobús.

ccbush: cuadras caminadas (en origen más destino) al usar autobús común.

tvdif: tiempo de viaje en autobús diferencial.

tedif: tiempo de espera de autobús diferencial.

cvdif: costo de viaje de autobús diferencial.

ccdif: cuadras caminadas (en origen más destino) al usar autobús diferencial.

Los parámetros a estimar son:

CEA_{auto} : constante de la función de utilidad de la alternativa "automóvil".

CEA_{moto} : constante de la función de utilidad de la alternativa "motocicleta".

CEA_{taxi} : constante de la función de utilidad de la alternativa "taxi/remis".

CEA_{bus} : constante de la función de utilidad de la alternativa "autobús común".

CEA_{dif} : constante de la función de utilidad de la alternativa "autobús diferencial" (especificada igual a cero).

CEA_{NE} : constante de la función de utilidad de la alternativa de “no elección” de los modos de transporte presentados en el experimento de elección.

β_{tv} : parámetro asociado a la variable tiempo de viaje.

β_{te} : parámetro asociado a la variable tiempo de espera.

β_{cv} : parámetro asociado a la variable costo de viaje.

β_{ce} : parámetro de la variable costo de estacionamiento.

β_{cc} : parámetro de la variable cuadras caminadas en origen más destino.

La Tabla 13 presenta los resultados del modelo estimado. Como puede apreciarse, la bondad de ajuste del modelo medida por el coeficiente rho-cuadrado ajustado es razonablemente alta, la mayoría de los coeficientes estimados resultaron significativos con un 95% de confianza, a excepción del coeficiente asociado a la variable “Tiempo de Viaje” que arroja un p-valor de 0,71. Dado este último resultado, en este modelo no se han calculado las valoraciones subjetivas de los ahorros de tiempos de viaje, tiempos de espera y cuadras caminadas.

Tabla 13
Modelo logit multinomial básico

Nombre del parámetro	Valor del parámetro	Error estándar	Test t-student	p-valor	Error estándar robusto	Test t-student robusto	p-valor
CEA_{auto}	1,04	0,246	4,24	0,00	0,246	4,24	0,00
CEA_{moto}	1,61	0,281	5,73	0,00	0,277	5,81	0,00
CEA_{taxi}	-0,828	0,268	-3,09	0,00	0,274	-3,02	0,00
CEA_{bus}	0,594	0,170	3,49	0,00	0,166	3,57	0,00
CEA_{dif}	0	Fijo					
CEA_{NE}	-2,17	0,322	-6,74	0,00	0,353	-6,14	0,00
β_{ce}	-0,0882	0,0135	-6,53	0,00	0,0143	-6,15	0,00
β_{cv}	-0,0790	0,0162	-4,87	0,00	0,0160	-4,92	0,00
β_{tv}	-0,00229	0,00678	-0,34	0,73	0,00614	-0,37	0,71
β_{te}	-0,0226	0,00998	-2,27	0,02	0,0103	-2,20	0,03
β_{cc}	-0,161	0,0427	-3,77	0,00	0,0427	-3,75	0,00
Nro. de observaciones:		672	Log-verosimilitud inicial:			-1059,614	
Rho-cuadrado:		0,244	Log-verosimilitud final:			-800,801	
Rho-cuadrado ajustado:		0,235	Test de razón de verosimilitud:			517,625	

El segundo modelo estimado incluyó como variables explicativas las variables de nivel de servicio del experimento de elección y variables ficticias de distancia de viaje con parámetro

genérico en las funciones de utilidad. Con estas variables de distancia de viaje se captaron diferencias en las preferencias relacionadas a la distancia de viaje al trabajo de los encuestados.

El sistema de funciones de utilidad (indirectas) lineales-aditivas es el siguiente:

$$V(auto) = CEA_{auto} + \beta_{tv} . tva + \beta_{cv} . cva + \beta_{ce} . cea + \beta_{2.5} . Km2_5 + \beta_5 . Km5 + \beta_{10} . Km10 + \beta_{15} . Km15 + \beta_{20} . Km20$$

$$V(moto) = CEA_{moto} + \beta_{tv} . tvm + \beta_{cv} . cvm + \beta_{ce} . cem + \beta_{2.5} . Km2_5 + \beta_5 . Km5 + \beta_{10} . Km10 + \beta_{15} . Km15 + \beta_{20} . Km20$$

$$V(taxi) = CEA_{taxi} + \beta_{tv} . tvt + \beta_{te} . tet + \beta_{cv} . cvt + \beta_{2.5} . Km2_5 + \beta_5 . Km5 + \beta_{10} . Km10 + \beta_{15} . Km15 + \beta_{20} . Km20$$

$$V(bus) = CEA_{bus} + \beta_{tv} . tvbus + \beta_{te} . tebus + \beta_{cv} . cvbus + \beta_{cc} . ccbus + \beta_{2.5} . Km2_5 + \beta_5 . Km5 + \beta_{10} . Km10 + \beta_{15} . Km15 + \beta_{20} . Km20$$

$$V(dif) = \beta_{tv} . tvdif + \beta_{te} . tedif + \beta_{cv} . cvdif + \beta_{cc} . cc dif + \beta_{2.5} . Km2_5 + \beta_5 . Km5 + \beta_{10} . Km10 + \beta_{15} . Km15 + \beta_{20} . Km20$$

$$V(NE) = CEA_{NE}$$

Las variables explicativas que se han agregado en esta estimación son:

Km2_5: variable ficticia relacionada a viajes de 2,5 kms. Esta variable asume el valor 1 cuando el dato corresponde a un escenario de elección de un viaje de 2,5 kms.

Km5: variable ficticia relacionada a viajes de 5 kms. Esta variable asume el valor 1 cuando el dato corresponde a un escenario de elección de un viaje de 5 kms.

Km10: variable ficticia relacionada a viajes de 10 kms. Esta variable asume el valor 1 cuando el dato corresponde a un escenario de elección de un viaje de 10 kms.

Km15: variable ficticia relacionada a viajes de 15 kms. Esta variable asume el valor 1 cuando el dato corresponde a un escenario de elección de un viaje de 15 kms.

Km20: variable ficticia relacionada a viajes de 20 kms. Esta variable asume el valor 1 cuando el dato corresponde a un escenario de elección de un viaje de 20 kms.

Cabe señalar, que en la especificación del modelo no se ha incluido la variable ficticia relacionada a viajes con una distancia de 25 kms, por lo tanto los parámetros estimados de las variables ficticias de distancia representan el comportamiento diferencial de los trabajadores en relación a viajes de 25 kms.

En la Tabla 14 se presenta el resultado de la estimación, que incluye sólo las variables cuyos parámetros estimados resultaron significativos con un 95% de confianza.

Como puede apreciarse, una vez que se incorporan las variables ficticias relacionadas a la distancia entre el hogar y el trabajo, resultaron significativos los coeficientes asociados a las distancias de 2,5 kms.; 5 kms. y 15 kms, incorporando comportamientos de viaje diferenciados de los trabajadores cuyo lugar de trabajo se encuentra a esas distancias con

respecto a otros trabajadores con diferentes distancias de viaje (10 kms, 20 y 25 kms). Asimismo, dado que las variables ficticias de distancia se han incluido en todas las alternativas modales excepto en la alternativa de no elección, los coeficientes estimados asociados a las diferentes distancias de viaje indican diferencias en la utilidad (y probabilidad de elección) de todos los modos de transporte disponibles presentados (automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial) y el modo de transporte que indica no elección (otro modo de transporte).

Tabla 14

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte

(incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje)

Nombre del parámetro	Valor del parámetro	Error estándar	Test t-student	p-valor	Error estándar robusto	Test t-student robusto	p-valor
CEA_{auto}	0,983	0,249	3,95	0,00	0,252	3,90	0,00
CEA_{moto}	1,41	0,284	4,98	0,00	0,283	4,99	0,00
CEA_{taxi}	-0,619	0,271	-2,28	0,02	0,277	-2,23	0,03
CEA_{bus}	0,737	0,175	4,22	0,00	0,170	4,34	0,00
CEA_{dif}	0	Fijo					
CEA_{NC}	-6,79	1,11	-6,11	0,00	1,14	-5,94	0,00
β_{ce}	-0,0953	0,0136	-7,00	0,00	0,0142	-6,73	0,00
β_{cv}	-0,115	0,0180	-6,38	0,00	0,0184	-6,27	0,00
β_{tv}	-0,0397	0,00936	-4,25	0,00	0,00892	-4,45	0,00
β_{te}	-0,0225	0,0100	-2,24	0,03	0,0102	-2,20	0,03
β_{cc}	-0,149	0,0432	-3,46	0,00	0,0438	-3,41	0,00
β_{2_5}	-4,91	1,08	-4,54	0,00	1,10	-4,46	0,00
β_5	-4,49	1,06	-4,23	0,00	1,07	-4,17	0,00
β_{15}	-2,92	1,09	-2,66	0,01	1,10	-2,64	0,01
Nro. de observaciones:		672			Log-verosimilitud inicial:	-1059,614	
Rho-cuadrado:		0,273			Log- verosimilitud final:	-770,557	
Rho-cuadrado ajustado:		0,261			Test de razón de verosimilitud:	578,113	
VSATV (\$/min)*	0,3452						
VSATE (\$/min)**	0,1957						
VSACC (\$/cuadra)***	1,2957						

Notas: (*) VSATV: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje. (**) VSATE: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera. (***) VSACC: Valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino.

Por lo tanto, los coeficientes negativos obtenidos para las variables ficticias de distancia de viaje de 2,5 kms, 5 kms y 15 kms muestran que existe una mayor probabilidad de elección de “otros modos de transporte” que podrían ser por ejemplo, caminando o en bicicleta, para los viajes más cortos (de 2,5 kms y 5 kms) y también para los de 15 kms en relación a las otras distancias de viaje (10 kms, 20 kms y 25 kms). Resulta curioso que la variable ficticia relacionada a la distancia de viaje de 15 kms resulte negativa y significativa, sin embargo, en los próximos modelos que incorporan otras variables socioeconómicas explicativas el coeficiente de la variable ficticia relacionada la distancia de 15 kms resulta no significativo; situación que resulta más coherente con aumentos de la probabilidad de elección de “otros modos de transporte” para distancias de viaje al trabajo más cortas (de hasta 5 kms).

Además, todos los coeficientes estimados de las variables de nivel de servicio de los modos de transporte resultaron con los signos esperados y significativos con un 95% de nivel de confianza.

Cabe señalar, que tanto en este modelo como en los que siguen, las valoraciones subjetivas de los ahorros de tiempo de viaje, tiempo de espera y cuadras caminadas se calcularon dividiendo el coeficiente estimado asociado a cada una de estas variables por el coeficiente estimado asociado al costo de viaje.

La valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje, medida en términos del costo de viaje, es de \$0,3425 por minuto; la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera es de \$0,1957 por minuto y la valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino es de \$1,2957 por cuadra.

El tercer modelo estimado incorporó al anterior, variables socioeconómicas explicativas en la especificación de la función de utilidad del automóvil, a saber: la variable edad, variables dummy relacionadas a las actividades laborales de los encuestados, variables dummy representativas de los niveles de ingreso familiar reportado, una variable dummy de género y también se incluyó el número de trabajadores del hogar como variable explicativa de la demanda de uso del automóvil. Los coeficientes asociados a las variables relacionadas al género, los niveles de ingreso y algunas actividades laborales resultaron no significativos. De esta manera, la demanda de viajes al trabajo en automóvil depende del tipo de ocupación del trabajador y de su edad, además de las variables de nivel de servicio de los modos de transporte (tiempo de viaje, costo de viaje y costo de estacionamiento).

Las variables adicionadas en este modelo, cuyos coeficientes estimados resultaron significativos son:

Activ3: variable dummy que asume el valor 1 si el encuestado es jefe o gerente en empresa privada con empleados a cargo y cero si no lo es.

Activ4: variable dummy que asume el valor 1 si el encuestado es dueño de empresa privada con 1 a 4 empleados a cargo y cero si no lo es.

Activ5: variable dummy que asume el valor 1 si el encuestado es dueño de empresa privada con 5 a 20 empleados a cargo y cero si no lo es.

Activ7: variable dummy que asume el valor 1 si el encuestado es autónomo/comerciante sin personal o profesional independiente y cero si no lo es.

Edad: años de edad del encuestado.

Las expresiones de las funciones de utilidad sistemática del modelo estimado son:

$$V(auto) = CEA_{auto} + \beta_{tv} . tva + \beta_{cv} . cva + \beta_{ce} . cea + \beta_{2.5} . km2_5 + \beta_5 . Km5 + \beta_{activ3} . Activ3 + \beta_{activ4} . Activ4 + \beta_{activ5} . Activ5 + \beta_{activ7} . Activ7 + \beta_{edad} . edad$$

$$V(taxi) = CEA_{taxi} + B_{tv} . tvt + B_{te} . tet + B_{cv} . cvt + \beta_{2.5} . Km2_5 + \beta_5 . Km5$$

$$V(bus) = CEA_{bus} + \beta_{tv} . tvbus + \beta_{te} . tebus + \beta_{cv} . cvbus + \beta_{cc} . ccbus + \beta_{2.5} . Km2_5 + \beta_5 . Km5$$

$$V(dif) = \beta_{tv} . tvdif + \beta_{te} . tedif + \beta_{cv} . cvdif + \beta_{cc} . ccdif + \beta_{2.5} . km2_5 + \beta_5 . Km5$$

$$V(NE) = CEA_{NE}$$

La Tabla 15 presenta los resultados de la estimación. El grado de ajuste del modelo mejora levemente en relación al modelo sin variables socioeconómicas explicativas de la elección de modo de transporte, considerando el valor del estadístico rho-cuadrado ajustado. Todos los coeficientes asociados a las variables de nivel de servicio poseen el signo esperado y valores similares a los estimados anteriormente (presentados en la Tabla 14).

Asimismo, el nivel de actividad ocupacional del individuo influye en la decisión de uso de automóvil particular, aumentando la probabilidad de uso de automóvil particular si la persona pertenece a alguna de las categorías ocupacionales o actividades codificadas con los números 3 (Jefe o gerente en empresa privada con empleados a cargo), 4 (patrón o dueño con 1 a 4 empleados), 5 (patrón o dueño con 5 a 20 empleados) y 7 (autónomo/comerciante/profesional independiente). El coeficiente asociado a la variable edad estaría indicando que a medida que aumenta la edad del trabajador, disminuye la probabilidad de uso de automóvil para viajar al trabajo.

En este modelo, la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje es de \$0,2984 por minuto; la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera es de \$0,1787 por minuto y la valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino es de \$1,2126 por cuadra.

Tabla 15

**Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte
(incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje y variables socioeconómicas)**

Nombre del parámetro	Valor del parámetro	Error estándar	Test t- student	p-valor	Error estándar robusto	Test t- student robusto	p-valor
<i>CEA_{auto}</i>	2,14	0,439	4,88	0,00	0,438	4,89	0,00
<i>CEA_{moto}</i>	1,43	0,288	4,96	0,00	0,288	4,95	0,00
<i>CEA_{taxi}</i>	-0,578	0,271	-2,13	0,03	0,276	-2,10	0,04
<i>CEA_{bus}</i>	0,688	0,176	3,91	0,00	0,169	4,06	0,00
<i>CEA_{dif}</i>	0	Fijo					
<i>CEA_{NE}</i>	-5,13	0,602	-8,52	0,00	0,620	-8,28	0,00
<i>β_{ce}</i>	-0,106	0,0145	-7,28	0,00	0,0151	-7,01	0,00
<i>β_{cv}</i>	-0,127	0,0191	-6,64	0,00	0,0196	-6,45	0,00
<i>β_{tv}</i>	-0,0379	0,00922	-4,11	0,00	0,00862	-4,40	0,00
<i>β_{te}</i>	-0,0227	0,0101	-2,25	0,02	0,0102	-2,23	0,03
<i>β_{cc}</i>	-0,154	0,0435	-3,55	0,00	0,0438	-3,53	0,00
<i>β_{2_5}</i>	-3,19	0,547	-5,84	0,00	0,568	-5,62	0,00
<i>β₅</i>	-2,69	0,506	-5,31	0,00	0,520	-5,17	0,00
<i>β_{activ3}</i>	1,48	0,654	2,26	0,02	0,698	2,12	0,03
<i>β_{activ4}</i>	2,86	1,16	2,47	0,01	1,02	2,79	0,01
<i>β_{activ5}</i>	2,69	0,835	3,23	0,00	0,922	2,92	0,00
<i>β_{activ7}</i>	1,26	0,338	3,74	0,00	0,354	3,58	0,00
<i>β_{edad}</i>	-0,0377	0,00994	-3,79	0,00	0,00977	-3,86	0,00
Nro. de observaciones:		672			Log-verosimilitud inicial:	-1059,614	
Rho-cuadrado:		0,286			Log- verosimilitud final:	-756,207	
Rho-cuadrado ajustado:		0,270			Test de razón de verosimilitud:	606,814	
VSATV (\$/min)*	0,2984						
VSATE (\$/min)**	0,1787						
VSACC (\$/cuadra)***	1,2126						

Notas: (*) VSATV: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje. (**) VSATE: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera. (***) VSACC: Valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino.

En función de este último modelo de elección de modo de transporte, se especificó el modelo logit mixto de datos de panel para considerar explícitamente las respuestas repetidas de los encuestados. Por lo tanto, considerando que la estimación de demanda se basa en un experimento de preferencias declaradas y que existen elecciones repetidas que

podrían estar correlacionadas serialmente, el modelo se especificó como un modelo estático de componentes del error con un efecto aleatorio y se estimó como un modelo logit mixto a los fines de capturar la correlación intrínseca entre las elecciones realizadas por cada encuestado, dado que cada uno de los encuestados respondió a seis escenarios de elección. Se han adicionado términos de error aleatorio individuales específicos (normalizando la alternativa de no elección), de manera tal que la *i-ésima* función de utilidad es $U_{int} = V_{int} + \varepsilon_{int}$, donde la parte no observada de la utilidad de la alternativa *i*, para el individuo *n* y la situación de elección *t* se especificó como $\varepsilon_{int} = \alpha_{in} + \varepsilon'_{int}$ con $\alpha_{in} \sim N(0, \Sigma)$, suponiendo además que los errores ε'_{int} son independientes en *t* (Brownstone y Train, 1999; Train, 2009).

Para realizar la estimación por el método de máxima verosimilitud simulada, se utilizaron 1.000 extracciones de Halton, tanto en este modelo como en todos los modelos siguientes en los que se especifique un modelo mixto de datos de panel para respuestas repetidas. Al estimar el modelo con las mismas variables explicativas utilizadas en la estimación de la Tabla 15, algunos coeficientes estimados resultaron no significativos, a saber: Bactiv7, Bedad. Los resultados obtenidos de este modelo logit multinomial mixto de datos de panel, se presentan en la Tabla 16.

La valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje es de \$0,3254 por minuto; la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera es de \$0,2254 por minuto y la valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino es de \$1,3525 por cuadra. Estas valoraciones resultan un tanto superiores a las estimadas con el modelo anterior que no contemplaba la estructura de datos de panel en los errores. Sin embargo, se mantiene la relación entre las diferentes valoraciones, el valor subjetivo atribuido al ahorro de una cuadra caminada es mayor al valor subjetivo atribuido al ahorro de un minuto de tiempo de viaje y este último es superior al valor subjetivo atribuido al ahorro de un minuto de tiempo de espera.

Tabla 16

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte. Modelo mixto de datos de panel para respuestas repetidas.

Nombre del parámetro	Valor del parámetro	Error estándar	Test t- student	p-valor	Error estándar robusto	Test t- student robusto	p-valor
CEA_{auto}	0,861	0,256	3,36	0,00	0,314	2,74	0,01
CEA_{moto}	1,46	0,297	4,90	0,00	0,42	3,47	0,00
CEA_{taxi}	-0,663	0,275	-2,41	0,02	0,292	-2,27	0,02
CEA_{bus}	0,777	0,180	4,31	0,00	0,236	3,29	0,00
CEA_{dif}	0	Fijo					
CEA_{NE}	-20,7	6,59	-3,14	0,00	5,64	-3,67	0,00
β_{ce}	-0,110	0,0147	-7,51	0,00	0,0196	-5,62	0,00
β_{cv}	-0,122	0,0191	-6,37	0,00	0,0247	-4,93	0,00
β_{tv}	-0,0397	0,0098	-4,05	0,00	0,0112	-3,55	0,00
β_{te}	-0,0275	0,0106	-2,60	0,01	0,0109	-2,53	0,01
β_{cc}	-0,165	0,0449	-3,68	0,00	0,0365	-4,53	0,00
β_{2_5}	-8,67	4,36	-1,99	0,05	3,69	-2,35	0,02
β_5	-8,85	4,87	-1,82	0,07	4,59	-1,93	0,05
β_{activ3}	4,75	2,48	1,91	0,06	1,36	3,50	0,00
β_{activ4}	4,23	2,3	1,83	0,07	0,506	8,35	0,00
β_{activ5}	1,94	0,804	2,42	0,02	0,960	2,02	0,04
σ_{panel}	9,92	3,28	3,03	0,00	2,92	3,40	0,00
Nro. de observaciones:		672		Log-verosimilitud inicial:	-1059,614		
Rho-cuadrado:		0,371		Log- verosimilitud final:	-666,351		
Rho-cuadrado ajustado:		0,356		Test de razón de verosimilitud:	786,527		
VSATV (\$/min)*	0,3254						
VSATE (\$/min)**	0,2254						
VSACC (\$/cuadra)**	1,3525						

Notas: (*) VSATV: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje. (**) VSATE: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera. (***) VSACC: Valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino.

A continuación, se estima el modelo logit anidado para elección de modo de transporte, que incluye variables ficticias de distancia de viaje y variables socioeconómicas de nivel de actividad laboral, estas últimas consideradas como determinantes de la demanda de uso de automóvil particular. Además, habiendo comprobado con el modelo logit multinomial anterior

que existe un desvío estándar significativo de los errores del modelo (a juzgar por la significatividad del coeficiente σ_{panel}), el modelo se especifica como un modelo logit anidado mixto para respuestas repetidas.

En la Tabla 17 se presentan los resultados del modelo logit anidado, estimado en base al mismo modelo anterior presentado en la Tabla 16.

Este modelo corresponde a la especificación con nidos ficticios para las alternativas modales, con igual parámetro del nido para las alternativas de transporte particular (automóvil y motocicleta) por un lado y para las alternativas de transporte público (taxi, autobús y autobús diferencial). Como se ha explicado en la sección 5.2.4, esta especificación es equivalente a la tradicional que no considera nidos ficticios, al tratarse de un modelo de elección logit multinomial en cada uno de los nidos de decisión.

En esta especificación de demanda, se utiliza la hipótesis de trabajo de que los modos de transporte público masivo: autobús y autobús diferencial, comparten factores inobservables y los modos de transporte privado: automóvil particular y motocicleta, también comparten factores inobservables. El objetivo es modelar la demanda de manera de incorporar el patrón de correlación potencial existente entre los errores inobservables de los modos de transporte incluidos en cada uno de estos grupos o nidos. Las estimaciones realizadas evidenciaron que el parámetro del nodo de transporte privado no era estadísticamente diferente de la unidad, razón por la cual se lo fijó igualándolo a la unidad, obteniéndose el resultado que se muestra en la Tabla 17. El esquema de elección resultante de la estimación es el que se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Diagrama de árbol de elección según evidencia empírica de elección de modo de transporte – Modelo logit anidado

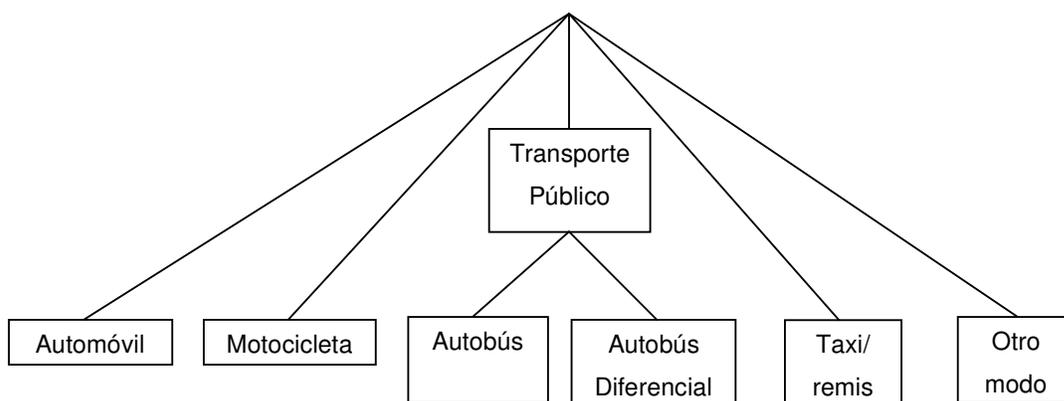


Tabla 17

Modelo logit anidado de elección de modo de transporte. Modelo mixto de datos de panel para respuestas repetidas.

Nombre del parámetro	Valor del parámetro	Error estándar	Test t-student	p-valor	Error estándar robusto	Test t-student robusto	p-valor
CEA_{auto}	0,783	0,188	4,16	0,00	0,268	2,92	0,00
CEA_{moto}	1,52	0,234	6,48	0,00	0,366	4,14	0,00
CEA_{taxi}	-0,981	0,225	-4,36	0,00	0,279	-3,52	0,00
CEA_{bus}	0	Fijo					
CEA_{dif}	0	Fijo					
CEA_{NE}	-19,3	6,46	-2,99	0,00	5,56	-3,47	0,00
β_{ce}	-0,0949	0,0143	-6,66	0,00	0,0184	-5,15	0,00
β_{cv}	-0,0969	0,0195	-4,98	0,00	0,0252	-3,85	0,00
β_{tv}	-0,0112	0,00482	-2,32	0,02	0,00633	-1,77	0,08
β_{te}	-0,00731	0,000335	-2,18	0,03	0,00452	-1,62	0,11
β_{cc}	-0,0444	0,0220	-2,01	0,04	0,0232	-1,91	0,06
$\beta_{2,5}$	-7,81	4,30	-1,81	0,07	3,66	-2,13	0,03
β_5	-8,14	4,77	-1,70	0,09	4,50	-1,81	0,07
$Bactiv3$	4,58	2,48	1,85	0,06	1,35	3,39	0,00
$Bactiv4$	4,07	2,29	1,78	0,08	0,484	8,41	0,00
$Bactiv5$	2,07	0,805	2,57	0,01	0,904	2,29	0,02
σ_{panel}	9,74	3,22	3,02	0,00	2,89	3,37	0,00
Nro. de observaciones:		672			Log-verosimilitud inicial:	-1.068,496	
Rho-cuadrado:		0,370			Log- verosimilitud final:	-667,816	
Rho-cuadrado ajustado:		0,355			Test de razón de verosimilitud:	759,347	
Parámetro de escala del nido	Valor	Error Estándar	Estadístico t (Ho: $\lambda=1$)	p-valor	Error estándar robusto	Estadístico t robusto (Ho: $\lambda=1$)	p-valor
λ_{Pub} (bus, dif)	3,35	0,892	2,63	0,01	1,10	2,14	0,03
λ_{Priv} (auto, moto)	1,00	Fijo					
λ_{Taxi}	1,00	Fijo					
λ_{Otro}	1,00	Fijo					
VSATV (\$/min)*	0,1156						
VSATE (\$/min)**	0,0754						
VSACC (\$/cuadra)***	0,4582						

Notas: (*) VSATV: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje. (**) VSATE: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera. (***) VSACC: Valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino.

De los resultados puede afirmarse que el parámetro del nido de transporte público compuesto por las alternativas “autobús y autobús diferencial” es estadísticamente diferente de la unidad, razón por la cual podría afirmarse que ambos modos de transporte presentan correlación de sus características o atributos no observables que los hacen similares o sustituibles en la decisión individual.

El ajuste general del modelo es razonablemente bueno, a juzgar por el valor del estadístico rho-cuadrado estimado, aunque los coeficientes estimados relacionados a las variables explicativas “tiempo de espera”, “tiempo de viaje” y “cuadras caminadas en origen más destino” poseen mayor desvío estándar que los estimados con la especificación logit multinomial, con niveles de significación superiores al 5%. El parámetro de escala del nido de transporte público resultó significativo, con un p-valor de 0,03, evidenciando que de aceptarse niveles de significación de los parámetros estimados de hasta un 11%, podría resultar adecuada la especificación del modelo logit anidado para estimar las preferencias de uso de modo de transporte para viajar al trabajo.

Sin embargo, como puede apreciarse, tanto el valor subjetivo de los ahorros de tiempo de viaje, como el valor subjetivo de los ahorros de tiempo de espera y el valor subjetivo de las cuadras caminadas resultaron menores a los calculados con los modelos anteriores. Las relaciones entre estas valoraciones se han mantenido, el VSACC resulta superior a la VSATV y la VSATV es superior a la VSATE.

En la siguiente sección se presenta un análisis de escenarios y el cálculo de las elasticidades de demanda utilizando los dos últimos modelos estimados y se comparan sus resultados.

Cabe señalar que adicionalmente se han estimado modelos logit multinomiales con parámetros aleatorios, considerando que los parámetros asociados a las variables de nivel de servicio consideradas poseen distribución uniforme en un caso, o lognormal en otro. Los parámetros estimados correspondientes a los desvíos estándar de los coeficientes promedio estimados asociados a las variables de nivel de servicio resultaron no significativos, al 5% de nivel de significación. Por lo tanto, puede afirmarse que no existe evidencia de heterogeneidad de las preferencias más allá de la asociada a respuestas repetidas de cada individuo, razón por la cual no se presentan aquí los resultados.

8.2. Análisis de escenarios y cálculo de elasticidades con el modelo de elección de modo de transporte

Utilizando el modelo Logit multinomial estimado y presentado en la Tabla 16, se han generado una serie de escenarios de política que permiten calcular las probabilidades de elección de los diferentes modos de transporte, sus cambios y en función de ellos las elasticidades de demanda.

Los escenarios de política propuestos son:

- Escenario base, diseñado considerando los siguientes niveles de los atributos: una velocidad promedio de 30 km/h para viajes en automóvil, motocicleta y taxi que determinó los tiempos de viaje según la distancia recorrida; una velocidad promedio de 18 km/h para autobús y de 20 km/h para autobús diferencial; costos diarios de estacionamiento de automóvil y motocicleta de \$10; tiempos de espera para autobús, autobús diferencial y taxi de 10 minutos en promedio; una tarifa de autobús de \$2,50; una tarifa de autobús diferencial igual a \$5; costos de viaje en automóvil calculados como \$0,50 por kilómetro recorrido y de \$0,25 por kilómetro para viaje en motocicleta.
- Escenario 1: considera una disminución del 20% en los tiempos de viaje en autobús como consecuencia de un aumento de la velocidad promedio del 25%. Este escenario podría alcanzarse en la realidad mediante la implementación de vías o carriles exclusivos para autobuses, al menos en el centro de la ciudad.
- Escenario 2: presenta una situación en la que el costo de estacionamiento de automóvil aumenta un 30%.
- Escenario 3: considera que el tiempo de espera del servicio de autobús diferencial disminuye un 25%.
- Escenario 4: disminución del tiempo de espera de autobús en un 25%.
- Escenario 5: presenta una situación en la que el costo de viaje en autobús aumenta un 28%. Este es el incremento evidenciado en el mercado regulado de autobús desde que se relevó la encuesta que permitió estimar la demanda en este estudio.
- Escenario 6: supone un 50% de aumento en el costo de viaje en autobús diferencial.
- Escenario 7: presenta una combinación múltiple de cambios en las variables de nivel de servicio, que están en línea con los cambios experimentados en el mercado en los primeros cuatro meses de 2012. Así, este escenario considera que los costos de viaje en automóvil y motocicleta se incrementan en un 30%. Además, la tarifa de autobús y autobús diferencial aumenta en un 28% en relación al escenario base, al

igual que sucedió en el mercado a partir del 13 de febrero de 2012. También considera que la tarifa de taxi aumenta en un 40% como lo hizo en el mercado a partir del 25 de abril de 2012.

Tabla 18

Pronósticos de escenarios de política y elasticidades de demanda

Modelo logit multinomial mixto de panel de elección de modo de transporte

Probabilidad de elección de modo de transporte	Pronósticos							
	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
P(auto) =	0,2394	0,2217	0,2163	0,2371	0,2334	0,2466	0,2482	0,2342
P(moto) =	0,1607	0,1568	0,1644	0,1604	0,1600	0,1615	0,1617	0,1613
P(taxi) =	0,0288	0,0270	0,0309	0,0284	0,0278	0,0301	0,0303	0,0317
P(autobus) =	0,4125	0,4574	0,4259	0,4066	0,4259	0,3959	0,4361	0,4232
P(diferencial) =	0,1586	0,1370	0,1625	0,1674	0,1529	0,1659	0,1237	0,1497
P(otro) =	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Variación % prob. uso automóvil =		-7,37%	-9,66%	-0,95%	-2,48%	3,03%	3,69%	-2,17%
Variación % prob. uso motocicleta =		-2,39%	2,31%	-0,17%	-0,42%	0,50%	0,65%	0,39%
Variación % prob. uso autobús =		10,89%	3,25%	-1,43%	3,24%	-4,02%	5,71%	2,60%
Variación % prob. uso autobús diferencial =		-13,63%	2,47%	5,56%	-3,63%	4,57%	-22,01%	-5,65%
Variación % prob. uso Taxi =		-6,25%	7,12%	-1,29%	-3,49%	4,36%	5,10%	9,85%
Elasticidad de la demanda de uso de automóvil		0,369	-0,322	0,038	0,099	0,108	0,074	
Elasticidad de la demanda de uso de motocicleta		0,120	0,077	0,007	0,017	0,018	0,013	
Elasticidad de la demanda de autobús (uso)		-0,545	0,108	0,057	-0,130	-0,143	0,114	
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)		0,681	0,082	-0,222	0,145	0,163	-0,440	
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,313	0,237	0,052	0,139	0,156	0,102	

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 16.

Como puede apreciarse, del escenario 1 se deriva una elasticidad de la demanda de autobús ante una disminución de los tiempos de viaje en ese modo de transporte de -0,545, que indica que una disminución del 10% de los tiempos de viaje en autobús provocaría un aumento del 5,45% de la demanda de servicios de autobús para viajar al trabajo.

Asimismo, la elasticidad cruzada de la demanda de servicios de autobús diferencial es relativamente alta (0,681), e indica que una disminución del 10% de los tiempos de viaje en autobús provocaría una disminución de la demanda de servicios de autobús diferencial del 6,81%. Las elasticidades de la demanda de uso de automóvil y de uso de taxi son de 0,369 y 0,313, respectivamente. La elasticidad de uso de motocicleta ante un cambio en los

tiempos de viaje en autobús es igual a 0,12, reflejando una menor sensibilidad de la demanda de motocicletas a los cambios de los tiempos de viaje en transporte por autobús.

Por otra parte, la elasticidad de la demanda de uso de automóvil ante cambios de los costos de estacionamiento de automóvil es de -0,322, según los resultados del escenario 2, reflejando que ante un aumento de los costos de estacionamiento de un 10% el uso de automóvil para viajar al trabajo disminuye un 3,22%; similar disminución a la que provocaría una disminución de los tiempos de viaje en transporte por autobús. Asimismo, la baja elasticidad cruzada de la demanda de uso de motocicleta ante aumentos de los costos de estacionamiento de automóvil, igual a 0,077, indica que el aumento de los costos de estacionamiento de automóvil en un 10% aumentaría el uso de motocicletas en un 0,77%, considerando que el costo de estacionamiento de motocicletas no cambia. Las elasticidades cruzadas de uso de autobús, autobús diferencial y taxi indican que como consecuencia de una política de aumento de los costos de estacionamiento de automóvil en un 10%, aumentaría el uso de autobús en un 1,08%; el uso de autobús diferencial en un 0,82% y el uso de taxi en un 2,37%.

El escenario 3 permite estimar las elasticidades de uso de los diferentes modos de transporte ante un cambio en los tiempos de espera de autobús diferencial. Por lo tanto, la elasticidad directa de la demanda de uso de autobús diferencial, igual a -0,222, indica que una mejora de las frecuencias del servicio diferencial que disminuyera los tiempos de espera promedio de este modo de transporte en un 10% provocaría un aumento de la demanda de uso de servicio diferencial igual a un 2,22%. Sin embargo, las elasticidades cruzadas de la demanda de uso de las otras alternativas de transporte para viajar al trabajo son menores a 0,1 indicando una baja sensibilidad de la demanda de cada uno de estos modos de transporte alternativos ante cambios en los tiempos de espera del servicio de autobús diferencial. Adicionalmente, puede afirmarse que la sensibilidad de la demanda de uso de autobús ante cambios en los tiempos de espera de este modo de transporte es menor que la del autobús diferencial. De los resultados obtenidos en el escenario 4, se desprende que la elasticidad de la demanda de uso de autobús ante cambios en los tiempos de espera de ese modo de transporte es igual a -0,13. Las elasticidades cruzadas de la demanda de uso de automóvil y motocicleta son pequeñas mientras que las elasticidades cruzadas de la demanda de uso de taxi y autobús diferencial son un tanto superiores, 0,145 para el autobús diferencial y 0,139 para el taxi.

El escenario 5 permite estimar la elasticidad de la demanda de los diferentes modos de transporte ante cambios en las tarifas de autobús. La elasticidad precio de la demanda de autobús es igual a -0,143. La elasticidad precio cruzada de la demanda de automóvil con

respecto al servicio de autobús es igual a 0,108 y la de motocicleta es de 0,018. La elasticidad precio cruzada de la demanda de autobús diferencial es igual a 0,163 y la de taxi es igual a 0,156.

Según los resultados de las elasticidades estimadas a partir del escenario 6 que supone un aumento del costo de viaje en autobús diferencial, un aumento de un 10% de la tarifa del transporte por autobús diferencial provocaría: una disminución de la demanda de este servicio en un 4,4%; un aumento de la demanda de autobús del 1,14%; un aumento de la demanda de taxis para viajar al trabajo de un 1,02% y aumentos de la demanda de automóvil y motocicleta que serían menores al 1%.

El escenario 7 presenta una combinación de aumentos de los costos de viaje en automóvil y motocicleta y de las tarifas de autobús, autobús diferencial y taxi. Los resultados demuestran que tras la incorporación de todos estos cambios, disminuirá el uso de automóvil en un 2,17% y del autobús diferencial en un 5,65%; aumentará el uso de motocicletas en un 0,39%; el uso de autobús en un 2,60% y el uso de taxis en un 9,85%, a pesar de que la tarifa de taxis aumentó unos puntos porcentuales más que las demás.

Utilizando el modelo logit anidado estimado de la Tabla 17, se han generado los mismos escenarios de pronóstico y se han calculado las elasticidades de demanda. En la Tabla 19 se presentan los resultados correspondientes. Comparando estos resultados con los de la Tabla 18, se evidencia una notable diferencia en los valores de las elasticidades de demanda estimadas. Del escenario 1 se desprende que las elasticidades de demanda con respecto a una disminución de los tiempos de viaje en autobús son todas menores en este modelo anidado excepto la elasticidad cruzada de la demanda de autobús diferencial con respecto al tiempo de viaje en autobús. Por lo tanto, el modelo anidado estaría magnificando los efectos de cambios en las variables de nivel de servicio de alguno de los dos modos pertenecientes al nido de transporte público sobre el otro modo que integra el nido, confirmando una mayor semejanza y sustituibilidad entre estos dos modos de transporte público.

Del escenario 2 que considera un aumento del costo de estacionamiento de automóvil, puede observarse que en general las elasticidades del modelo anidado son mayores que las del modelo multinomial, excepto la elasticidad de la demanda de motocicleta con respecto a los costos de estacionamiento de automóvil, aunque en este caso se trata de la menor de las elasticidades calculadas con ambos modelos para este escenario de política.

Tabla 19

Pronósticos de escenarios de política y elasticidades de demanda

Modelo logit anidado mixto de panel de elección de modo de transporte

Probabilidad de elección de modo de transporte	Pronósticos							
	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
P(auto) =	0,2647	0,2601	0,2271	0,2640	0,2633	0,2698	0,2717	0,2606
P(moto) =	0,1629	0,1619	0,1648	0,1628	0,1627	0,1634	0,1637	0,1634
P(taxi) =	0,0403	0,0396	0,0433	0,0402	0,0400	0,0415	0,0419	0,0435
P(autobus) =	0,3542	0,3862	0,3761	0,3475	0,3627	0,322	0,4272	0,3802
P(diferencial) =	0,1779	0,1521	0,1886	0,1855	0,1723	0,2031	0,0954	0,1524
P(otro) =	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Variación % prob. uso automóvil =		-1,76%	-14,20%	-0,27%	-0,55%	1,93%	2,66%	-1,56%
Variación % prob. uso motocicleta =		-0,58%	1,22%	-0,05%	-0,10%	0,33%	0,50%	0,33%
Variación % prob. uso autobús =		9,04%	6,18%	-1,89%	2,40%	-9,04%	20,62%	7,34%
Variación % prob. uso autobús diferencial =		-14,48%	6,02%	4,29%	-3,68%	14,16%	-46,34%	-14,34%
Variación % prob. uso Taxi =		-1,69%	7,43%	-0,39%	-0,81%	2,90%	3,86%	7,76%
Elasticidad de la demanda de uso de automóvil		0,088	-0,473	0,011	0,022	0,069	0,053	
Elasticidad de la demanda de uso de motocicleta		0,029	0,041	0,002	0,004	0,012	0,010	
Elasticidad de la demanda de autobús (uso)		-0,452	0,206	0,075	-0,096	-0,323	0,412	
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)		0,724	0,201	-0,172	0,147	0,506	-0,927	
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,085	0,248	0,016	0,032	0,104	0,077	

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 17.

La elasticidad de la demanda del servicio de autobús diferencial con respecto al tiempo de espera del mismo servicio aumenta levemente al utilizar el modelo logit anidado, según los resultados del escenario 3.

Asimismo, las elasticidades derivadas del escenario 4, que considera un cambio en los tiempos de espera del autobús, resultan por lo general inferiores a las del modelo logit multinomial, con excepción de la elasticidad de demanda de uso de autobús diferencial que presenta un valor similar.

Utilizando el modelo logit anidado, la elasticidad precio de la demanda de autobús es igual a -0,323 (ver escenario 5, Tabla 19), que se encuentra cercana al valor estimado con datos de series temporales (Sartori, 2003). Asimismo, la elasticidad cruzada de la demanda de autobús diferencial con respecto al precio del autobús resulta en un valor de 0,506; significativamente más elevada que la del modelo logit multinomial.

A partir de los resultados del escenario 6, puede verificarse el significativo aumento de la elasticidad precio de la demanda de autobús diferencial al utilizar el modelo anidado. Ahora esa elasticidad es de -0,927, mientras que con el modelo logit multinomial era de -0,44.

Observando todos los escenarios generados por modo de transporte, se evidencia que con el modelo anidado las elasticidades cruzadas de la demanda de automóvil disminuyen mientras que aumenta la única elasticidad directa estimada relacionada al costo de estacionamiento de automóvil (escenario 2) y todas las elasticidades cruzadas de la demanda de uso de motocicleta disminuyen.

Del escenario 7, que considera cambios en múltiples variables al mismo tiempo, puede afirmarse que utilizando el modelo anidado disminuye el uso de automóvil en un 1,56% (2,17% con el modelo logit multinomial), aumenta el uso de motocicleta en un 0,33% (0,39% con el logit multinomial), aumenta el uso de autobús en un 7,34% (2,60% con el modelo logit multinomial), disminuye el uso del servicio de autobús diferencial en un 14,34% (5,65% con el modelo logit multinomial) y aumenta el uso del servicio de taxi en un 7,76% (9,85% con el modelo logit multinomial).

Por lo tanto, el valor que presentan las elasticidades calculadas resulta sensible a la especificación del modelo, sea logit multinomial o anidado.

9. Modelos estimados de elección conjunta de modo de transporte y tenencia de vehículo particular

En esta sección se presentan modelos especificados para estimar de manera conjunta la demanda de modo de transporte y la tenencia de vehículo particular. En esta modelación resulta fundamental identificar claramente los conjuntos de elección que el trabajador enfrenta para realizar su elección de modo de transporte para viajar al trabajo, para analizar sus preferencias por tenencia y uso de vehículo particular. Cabe señalar, que en este análisis se supone la existencia de conjuntos de elección determinísticos o fijos, es decir, se especifican precisamente cuáles son las alternativas que componen el conjunto de elección del individuo. La variable dependiente del modelo, relacionada a la elección de modo de transporte para viajar al trabajo, corresponde a la variable de respuesta que considera a todos los modos de transporte como potencialmente disponibles. Debe recordarse que el experimento de elección implementado permitió generar esta variable a partir de la pregunta relacionada a la preferencia por compra de vehículo particular (automóvil o motocicleta) realizada en cada escenario de elección, luego de presentar los atributos de los modos de transporte disponibles para cada entrevistado. De esta manera, considerando las seis alternativas modales de elección potencialmente disponibles y las cuatro categorías de tenencia, la variable asumió valores entre 1 y 24 según la alternativa conjunta modo y tenencia que le correspondiera a la elección realizada por cada individuo en cada escenario de elección. La Tabla 20 presenta la distribución de frecuencias de la variable dependiente definida, según la cual la alternativa 3 (elección de taxi y categoría 1 de tenencia) y la alternativa 6 (elección de “otro modo de transporte” y categoría 1 de tenencia) no han sido elegidas en la muestra. Por lo tanto, las estimaciones realizadas con el modelo de elección conjunta seleccionado no incluirá estas alternativas (3 y 6) en las probabilidades de elección pronosticadas.

Tabla 20**Distribución de frecuencias de la variable dependiente**

Modo	Categoría de Tenencia	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa
1 Automóvil	1	12	1,79%
2 Motocicleta	1	48	7,14%
4 Autobús	1	15	2,23%
5 Diferencial	1	3	0,45%
7 Automóvil	2	9	1,34%
8 Motocicleta	2	46	6,85%
9 Taxi	2	1	0,15%
10 Autobús	2	5	0,74%
11 Diferencial	2	1	0,15%
12 Otro modo	2	10	1,49%
13 Automóvil	3	147	21,88%
14 Motocicleta	3	25	3,72%
15 Taxi	3	28	4,17%
16 Autobús	3	85	12,65%
17 Diferencial	3	57	8,48%
18 Otro modo	3	18	2,68%
19 Automóvil	4	32	4,76%
20 Motocicleta	4	15	2,23%
21 Taxi	4	6	0,89%
22 Autobús	4	61	9,08%
23 Diferencial	4	32	4,76%
24 Otro modo	4	16	2,38%
Total		672	100,00%

En la sección 9.1.1, se estima simultáneamente la elección de modo de transporte para viajar al trabajo y las preferencias por la tenencia de vehículo particular (automóvil o motocicleta), dada la tenencia y disponibilidad de vehículo particular para uso en viajes al trabajo.

En estos modelos se consideró un conjunto de elección compuesto por las seis alternativas modales: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial y otro modo (alternativa de no elección); para cada tipo de individuo según su categoría de tenencia de vehículo: “con automóvil y motocicleta disponibles”, “sin automóvil disponible”, “sin motocicleta disponible” y “sin automóvil y sin motocicleta disponible”. Los modelos se estimaron considerando una estructura de los errores de datos de panel, considerando explícitamente las respuestas repetidas de elección que realiza cada entrevistado.

Se especificó y estimó en primer lugar, como un modelo anidado con nidos ficticios, sin incluir variables explicativas en los nidos. Las variables explicativas utilizadas en el primer

modelo presentado fueron las variables de nivel de servicio de los modos de transporte considerados en el experimento de elección y variables ficticias de distancia de viaje al trabajo. En este modelo se consideraron coeficientes genéricos para las variables de nivel de servicio, sin diferenciar los coeficientes de las alternativas relacionadas al uso de vehículo particular con los de las alternativas de preferencias por compra de vehículo particular.

En el segundo modelo, se incluyeron parámetros específicos relacionados con la compra de vehículo particular, que permiten diferenciar la demanda de uso de vehículo particular por parte de quienes ya disponen del mismo y la demanda de compra de vehículo particular por parte de quienes no lo disponen. También se incluyen variables ficticias de nivel de actividad laboral en la elección de uso de automóvil.

En la sección 9.1.2. se presenta un modelo logit anidado multidimensional para estimación conjunta o simultánea de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte (que incluye las preferencias por compra de vehículo). Se trata de nidos relacionados a las diferentes categorías de tenencia y donde además, estos nidos están relacionados a diferentes variables socioeconómicas.

En este caso, se especificó un modelo con variables explicativas socioeconómicas genéricas de los nidos, que permiten explicar la tenencia de vehículo particular (automóvil y motocicleta) por parte del hogar considerando que esos vehículos se encuentran disponibles para viajar al trabajo. Con relación al conjunto de elección que enfrenta cada consumidor, aquí se supone que enfrenta las 24 alternativas básicas de elección, lo que permite incluir en el modelo a las variables explicativas de la tenencia de automóvil y motocicleta y además considerar las preferencias por tenencia de estos modos de transporte particular al cambiar las variables de nivel de servicio de los diferentes modos de transporte considerados.

9.1. Estimación simultánea de elección de modo de transporte para viajar al trabajo y preferencias por tenencia de vehículo particular

9.1.1. Modelo logit anidado con nidos de tenencia ficticios

Este modelo se corresponde con el expuesto en la sección 5.4.3 y supone que el diagrama de elección es el de la Figura 8.

La parte determinística de las funciones de utilidad lineal en los parámetros especificada y estimada para cada uno de las cuatro categorías con parámetro genérico del nido de tenencia del modelo logit anidado son:

$$V(auto) = CEA_{auto} + \beta_{TV} \cdot TV_{auto} + \beta_{CV} \cdot CV_{auto} + \beta_{CE_a} \cdot CE_{auto} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(moto) = CEA_{moto} + \beta_{TV} \cdot TV_{moto} + \beta_{CV} \cdot CV_{moto} + \beta_{CE_m} \cdot CE_{moto} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(taxi) = CEA_{taxi} + \beta_{TV} \cdot TV_{taxi} + \beta_{TE} \cdot TE_{taxi} + \beta_{CV} \cdot CV_{taxi} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(bus) = CEA_{bus} + \beta_{TV} \cdot TV_{bus} + \beta_{TE} \cdot TE_{bus} + \beta_{CV} \cdot CV_{bus} + \beta_{CC} \cdot CC_{bus} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(dif) = \beta_{TV} \cdot TV_{dif} + \beta_{TE} \cdot TE_{dif} + \beta_{CV} \cdot CV_{dif} + \beta_{CC} \cdot CC_{dif} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(NE) = CEA_{NE}$$

Las variables explicativas del modelo son:

TV: tiempo de viaje; *CV*: costo de viaje; *CE*: costo de estacionamiento (diario); *TE*: tiempo de espera; *CC*: cuadras caminadas en origen y destino; $D_{2,5}$: variable ficticia que asume el valor 1 para viajes de 2,5 km desde el hogar al trabajo y el valor cero en otro caso; D_5 : variable ficticia que asume el valor 1 para viajes de 5 km entre el hogar y el trabajo y el valor cero en otro caso. Tanto en la denominación de la función de utilidad como en los subíndices de los parámetros a estimar en cada función de utilidad, se han utilizado las siguientes abreviaturas: *auto*: automóvil particular, *moto*: motocicleta, *taxi*: servicio de taxi o remis, *bus*: autobús, *dif*: autobús diferencial, *NE*: otro modo de transporte o alternativa de no elección. Las constantes específicas de las alternativas se han denominado *CEA* como ha sido habitual en todo el estudio.

Como puede apreciarse, los coeficientes asociados a las variables tiempo de viaje (β_{TV}), tiempo de espera (β_{TE}), costo de viaje (β_{CV}) y cuadras caminadas (β_{CC}) se estimaron como parámetros genéricos, mientras que el coeficiente asociado a la variable costo de estacionamiento (β_{CE}) se consideró como específico de las alternativas automóvil y motocicleta (β_{CE_a} y β_{CE_m}). Si bien se incluyeron variables ficticias para las distancias de viaje de 10 kms, 15 kms y 20 kms, no resultaron significativas. Además, se incluyeron cinco constantes específicas de las alternativas (*CEA*) a estimar, suponiendo una alternativa con constante específica igual a cero a los fines de la identificación y estimación del modelo.

Asimismo, considerando que la estimación de demanda se basa en un experimento de preferencias declaradas y por lo tanto existen elecciones repetidas que podrían estar correlacionadas serialmente, el modelo se especificó como un modelo estático de componentes del error con un efecto aleatorio y se estimó como un modelo logit mixto de panel a los fines de capturar la correlación intrínseca entre las elecciones realizadas por cada encuestado, dado que cada uno de los encuestados respondió a seis escenarios de elección. Se han adicionado términos de error aleatorio individuales específicos (normalizando la alternativa de no elección), de manera tal que la *i-ésima* función de utilidad es $U_{int} = V_{int} + \mathcal{E}_{int}$, donde la parte no observada de la utilidad de la alternativa *i*, para el individuo *n* y la situación de elección *t* se especificó como $\mathcal{E}_{int} = \alpha_{in} + \mathcal{E}'_{int}$ con $\alpha_{in} \sim N(0, \Sigma)$, suponiendo además que los errores \mathcal{E}'_{int} son independientes en *t* (Brownstone y Train, 1998; Train, 2009).

En esta primera versión del modelo, las funciones de utilidad fueron las mismas para cada individuo, independientemente de la categoría de tenencia⁵⁶ que le corresponde en relación a su tenencia y disponibilidad de vehículo particular para viajar al trabajo. Así, para un individuo sin automóvil en el hogar, por ejemplo, la probabilidad de usar automóvil para viajar al trabajo mostrará la probabilidad conjunta de compra y uso del vehículo en un futuro cercano.

En esta estimación no se han considerado variables socio-demográficas adicionales como variables independientes dado que el objetivo principal fue probar empíricamente la hipótesis de interdependencia entre las políticas de transporte urbano y las preferencias por tenencia de vehículo y uso de los diferentes modos de transporte.

La estimación consideró la actual disponibilidad de vehículo privado de cada uno de los encuestados y sus preferencias por la tenencia de automóvil o motocicleta como una respuesta a los niveles de servicio de todos los modos de transporte considerados. Las alternativas de transporte público (taxi, autobús y autobús diferencial) se consideraron disponibles para todos los consumidores, dado que el análisis de políticas de mejora de los servicios de transporte público puede incluir la ampliación de la cobertura red de servicios y en particular la del autobús diferencial. Asimismo, en la elección de uso de automóvil el entrevistado podía elegir usar el automóvil “como conductor” o como “acompañante”, considerándose como usuario de automóvil en ambas situaciones al realizar las estimaciones.

⁵⁶ Unívocamente relacionada al modelo de tenencia del experimento de elección de preferencias declaradas.

La estimación se realizó especificando conjuntamente un modelo logit anidado para la elección de modo de transporte y las preferencias de tenencia de vehículo de la siguiente manera. El diseño de elección de modo de transporte permitió preguntar al encuestado si estaría dispuesto a comprar un automóvil o una motocicleta, una vez que se confronta con el diseño del experimento de elección considerando total disponibilidad de los modos presentados. Así, el sistema de funciones de utilidad se compone por 24 funciones de utilidad, que pueden dividirse en cuatro categorías de seis alternativas cada una.

Las funciones de utilidad fueron las mismas para los encuestados pertenecientes a cualquier tipo de categoría de tenencia y cada alternativa elemental se modeló con nido ficticio genérico en relación a la categoría de tenencia de vehículo a la que correspondía.

Las funciones de utilidad 1 a 6 corresponden a la categoría de persona que posee automóvil y motocicleta en el hogar (categoría 1). Las utilidades de la 7 a la 12 corresponden a la categoría de persona sin automóvil en el hogar (categoría 2). Las utilidades 13 a 18, para la categoría de individuo sin motocicleta en el hogar (categoría 3). Las utilidades 19 a 24 corresponden a un individuo sin automóvil ni motocicleta en el hogar (categoría 4). De esta manera, por ejemplo, a un individuo que no tiene automóvil disponible, se le preguntó si estaría dispuesto a comprar un automóvil considerando el diseño completo de elección con todas las alternativas disponibles. De la misma forma, a un individuo que no posee motocicleta disponible se le preguntó si estaría dispuesto a comprar una motocicleta en los próximos seis meses considerando el diseño completo que mostró todos los atributos de todas las alternativas: automóvil, motocicleta, taxi, autobús, autobús diferencial y otro (alternativa de no elección).

La estimación se realizó con el software BIOGEME (Bierlaire, 2003, 2009).

A continuación, en la Tabla 21, se presentan los resultados de la estimación del modelo econométrico para luego realizar un análisis de escenarios, diseñado para pronosticar el uso de los diferentes modos de transporte para viajar al trabajo y las preferencias por tenencia de vehículo privado⁵⁷.

Como se ha explicado en la sección 5.4.3, para que el modelo esté identificado debe fijarse uno de los parámetros de escala de los nidos de categoría de tenencia de vehículo igualándolo al valor unitario, razón por la cual se ha normalizado el parámetro de escala correspondiente a la categoría de tenencia 4. Una vez estimado el modelo, el parámetro de

⁵⁷ Cabe señalar, que una estimación previa de este modelo realizada con aproximadamente la mitad de los datos de la muestra total, fue presentada en la 2nd International Choice Modelling Conference, realizada en junio de 2011 en la ciudad de Leeds en el Reino Unido (Sartori y Robledo, 2011).

escala del nido de la categoría de tenencia 3 arrojó un valor que resultó no significativamente diferente de uno, razón por la cual también fue fijado su valor en uno, como puede apreciarse en la Tabla 21.

Este resultado sugiere que, más allá de la correlación intrínseca existente entre las elecciones que realiza un encuestado, no hay evidencia de la existencia de una mayor correlación en los componentes no observados entre las preferencias por el uso de diferentes modos de transporte si en el hogar no poseen vehículo particular (categoría 4) o solo poseen automóvil disponible para viajar al trabajo (categoría 3). Los parámetros estimados de los nidos correspondientes a las categorías 1 y 2 resultaron mayores a la unidad, con lo cual se evidencia un menor desvío estándar de los errores para estas categorías de tenencia en relación a las categorías 3 y 4.

Por lo tanto, para los nidos 3 y 4 el modelo colapsa a la especificación logit multinomial multidimensional de Ben-Akiva y Lerman (1974, 1985), expuesta en la sección 5.4.1. Asimismo, presentar las 24 alternativas elementales en el modelo resulta de importancia para el análisis de las preferencias de tenencia de automóvil y motocicleta, ya que permite predecir directamente la preferencia por compra de automóvil o motocicleta por parte de aquellos que no poseen alguno de estos modos de transporte en su hogar en la actualidad.

Todos los parámetros estimados presentados en la Tabla 21 tienen el signo esperado y son estadísticamente significativos considerando mínimos niveles de significación.

También, el coeficiente σ_{panel} resultó significativo, lo que implica que este modelo captura la correlación intrínseca entre las observaciones del mismo individuo.

La valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje es de \$0,2081 por minuto; la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera de \$0,2572 por minuto y la valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino es de \$1,0694 por cuadra. En este caso, a diferencia de los modelos anteriores, la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera resultó superior a la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje y la valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas fue superior a las dos anteriores.

Tabla 21

Modelo logit anidado multidimensional mixto de datos de panel con nidos ficticios (para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo)⁽¹⁾

Nombre del parámetro	Valor	Error Estándar	Test t-student	p-valor	Error estándar robusto	Test t-student robusto	p-valor
CEA_{Bus}	0,382	0,0881	4,34	0,00	0,105	3,65	0,00
CEA_{NE}	-9,73	2,64	-3,69	0,00	2,61	-3,73	0,00
$\beta_{2,5}$	-3,99	1,76	-2,27	0,02	1,66	-2,4	0,02
β_5	-4,51	2,17	-2,07	0,04	2,16	-2,08	0,04
β_{CC}	-0,074	0,0171	-4,32	0,00	0,0172	-4,3	0,00
β_{CE_a}	-0,0336	0,00567	-5,92	0,00	0,00705	-4,76	0,00
β_{CE_m}	-0,0518	0,00942	-5,50	0,00	0,0136	-3,81	0,00
β_{CV}	-0,0692	0,00996	-6,95	0,00	0,0116	-5,97	0,00
β_{TE}	-0,0178	0,0045	-3,96	0,00	0,00478	-3,73	0,00
β_{TV}	-0,0144	0,00408	-3,54	0,00	0,0038	-3,79	0,00
σ_{panel}	4,45	1,21	3,68	0,00	1,14	3,92	0,00

Parámetro de escala el nido	Valor	Error Estándar	Estadístico t (Ho: $\lambda=1$)	p-valor	Error estándar robusto	Estadístico t robusto (Ho: $\lambda=1$)	p-valor
λ_1	3,66	0,777	3,43	0,00	1,11	2,4	0,02
λ_2	11,1	2,4	4,2	0,00	2,81	3,59	0,00
λ_3	1,00	Fijo					
λ_4	1,00	Fijo					

Número de observaciones:	672	Log de verosimilitud inicial:	-1.172,436
Rho cuadrado:	0,185	Log de verosimilitud final:	-955,937
Rho Cuadrado ajustado:	0,174	Razón de verosimilitud:	432,997

VSATV (\$/min)*	0,2081
VSATE (\$/min)**	0,2572
VSACC (\$/cuadra)***	1,0694

Notas: (1) El conjunto de elección que enfrenta el individuo está compuesto por las seis alternativas modales de elección. (*) VSATV: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje. (**) VSATE: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera. (***) VSACC: Valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino.

Dada la especificación del modelo con parámetros genéricos asociados a las variables de nivel de servicio de los modos de transporte, un cambio en esas variables provocará efectos de la misma magnitud sobre las funciones de utilidad de las alternativas multidimensionales, sin diferenciar entre las alternativas relacionadas a la compra y al uso de automóvil y motocicleta. Resulta razonable entonces diferenciar estos efectos incorporando coeficientes

específicos a la compra de automóvil (alternativas 7 y 19) y motocicleta (alternativas 14 y 20).

En esta versión del modelo, la parte determinística de las funciones de utilidad relacionadas con el uso de vehículos para cada una de las cuatro categorías, considerando parámetro genérico del nido de tenencia del modelo logit anidado son:

$$V(Auto) = V(1) = V(13) = CEA_{auto} + \beta_{TV} \cdot TV_{auto} + \beta_{CV} \cdot CV_{auto} + \beta_{CE_a} \cdot CE_{auto} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5 + \beta_{activ3} \cdot Activ3 + \beta_{activ4} \cdot Activ4 + \beta_{activ5} \cdot Activ5$$

$$V(Moto) = V(2) = V(8) = CEA_{Moto} + \beta_{TV} \cdot TV_{moto} + \beta_{CV} \cdot CV_{moto} + \beta_{CE_m} \cdot CE_{moto} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(Taxi) = V(9) = V(15) = U(21) = CEA_{Taxi} + \beta_{TV} \cdot TV_{taxi} + \beta_{TE} \cdot TE_{taxi} + \beta_{CV} \cdot CV_{taxi} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(Bus) = V(4) = V(10) = V(16) = V(22) = CEA_{Bus} + \beta_{TV} \cdot TV_{bus} + \beta_{TE} \cdot TE_{bus} + \beta_{CV} \cdot CV_{bus} + \beta_{CC} \cdot CC_{bus} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(Dif) = V(5) = V(11) = V(17) = V(23) = \beta_{TV} \cdot TV_{dif} + \beta_{TE} \cdot TE_{dif} + \beta_{CV} \cdot CV_{dif} + \beta_{CC} \cdot CC_{dif} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(NE) = V(12) = V(18) = V(24) = CEA_{NE}$$

Estas funciones de utilidad corresponden a todas las alternativas de uso de vehículo disponible (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24)⁵⁸ y las siguientes corresponden a las alternativas de uso de vehículo no disponible, que implican la compra de vehículo (alternativas conjuntas número 7, 14, 19 y 20).

$$V(Auto_{compra}) = V(7) = V(19) = CEA_{auto_{compra}} + \beta_{CV} \cdot CV_{auto} + \alpha_{TV_{auto}} \cdot TV_{auto} + \alpha_{CE_{auto}} \cdot CE_{auto} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(Moto_{compra}) = V(14) = CEA_{Moto_{compra}_{14}} + \beta_{CV} \cdot CV_{moto} + \alpha_{TV_{moto}} \cdot TV_{moto} + \alpha_{CE_{moto}} \cdot CE_{moto} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(Moto_{compra}) = V(20) = CEA_{Moto_{compra}_{20}} + \beta_{CV} \cdot CV_{moto} + \alpha_{TV_{moto}} \cdot TV_{moto} + \alpha_{CE_{moto}} \cdot CE_{moto} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

En este modelo, se han estimado parámetros específicos relacionados con la preferencia por compra de automóvil y motocicleta, a saber: se incorporó un coeficiente de preferencia por compra de automóvil ante variaciones del tiempo de viaje en automóvil ($\alpha_{TV_{auto}}$), un coeficiente de preferencia por compra de motocicleta ante variaciones del tiempo de viaje en motocicleta ($\alpha_{TV_{moto}}$), un coeficiente de preferencia por compra de automóvil y otro de preferencia por compra de motocicleta ante cambios en los costos de estacionamiento respectivos ($\alpha_{CE_{auto}}$ y $\alpha_{CE_{moto}}$, *respectivamente*). Los coeficientes asociados al costo de viaje y a las variables ficticias de distancia de viaje al trabajo fueron genéricos tanto para las alternativas que indican preferencia por compra de vehículo como para las alternativas de elección de modo de transporte disponible. Además, se han incluido variables de nivel de actividad laboral en las funciones de utilidad relacionadas a la elección de automóvil particular.

⁵⁸ Debe recordarse, que las alternativas 3 y 6 no fueron elegidas por los entrevistados, razón por la cual no se han considerado estas alternativas en la estimación.

En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos considerando un modelo mixto de datos de panel que incluye coeficientes genéricos diferenciando preferencias de uso y compra de vehículo particular. Incluye variable socioeconómica de actividad laboral. Nuevamente aquí, en el proceso de estimación en primer lugar se fijó el valor del parámetro estructural del nido de tenencia 4 igualándolo a la unidad, lo que arrojó una estimación del parámetro estructural del nido de tenencia 3 no significativamente diferente de la unidad, razón por la cual se igualaron a la unidad ambos parámetros de escala.

Los resultados evidencian que algunos coeficientes resultaron no significativos considerando un nivel de significación de 0,05. Se trata de la constante específica de la alternativa 20 (compra de motocicleta), el coeficiente asociado a la actividad laboral 3 y el coeficiente estructural asociado al nido de tenencia 1, que en este caso resultó significativamente diferente de la unidad sólo si se acepta un nivel de significación de 0,21; no habiéndose encontrado mejores estimaciones del modelo.

Cabe señalar, que al restringir el valor del coeficiente estructural asociado al nido de tenencia 1 a la unidad el modelo no convergía, no pudiendo obtenerse una estimación válida.

Además, se evidencia que si el individuo se desempeña como gerente o jefe con empleados a cargo (actividades laborales con códigos 3, 4 o 5) aumenta su probabilidad de uso de automóvil particular para viajar al trabajo. Sin embargo, el coeficiente asociado a la actividad laboral 3 resultó con un p-valor de 0,12.

La valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje para trabajadores que poseen vehículo particular disponible (automóvil o motocicleta) para viajar al trabajo resultó igual a \$0,2395 por minuto; la misma valoración subjetiva para trabajadores que no cuentan con automóvil y están dispuestos a comprarlo resultó un tanto superior e igual a \$ 0,2866 y la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje para trabajadores que no poseen motocicleta y están dispuestos a comprarla resultó igual a \$ 0,3911. La valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera es de \$0,2414 por minuto y la valoración subjetiva de los ahorros de cuerdas caminadas en origen o destino es de \$0,9873 por cuadra.

Los resultados obtenidos indican entonces que aparece como una alternativa posible estimar un modelo que incorpore una estructura de decisión que diferencie las preferencias por uso y compra de vehículo particular como el modelo especificado. Sin embargo, con los datos relevados, no se han obtenido mejores resultados que los presentados en la Tabla 22.

Tabla 22

Modelo logit anidado multidimensional mixto de datos de panel con nidos ficticios y coeficientes que diferencian preferencias de uso y compra de vehículo particular⁽¹⁾

Nombre del parámetro	Valor	Error Estándar	Test t-student	p-valor	Error estándar robusto	Test t-student robusto	p-valor
CEA_{Bus}	0,667	0,147	4,54	0,00	0,174	3,83	0,00
CEA_{NE}	-12,5	2,95	-4,24	0,00	2,75	-4,56	0,00
$CEA_{moto_compra_14}$	-1,81	0,413	-4,39	0,00	0,539	-3,36	0,00
$CEA_{moto_compra_20}$	1,57	0,481	-3,27	0,00	0,995	-1,58	0,11
$\beta_{2,5}$	-5,49	2,46	-2,23	0,03	2,58	-2,13	0,03
β_5	-5,22	2,44	-2,14	0,03	2,45	-2,13	0,03
β_{CC}	-0,155	0,0280	-5,53	0,00	0,0286	-5,41	0,00
β_{CE_auto}	-0,0670	0,0115	-5,84	0,00	0,0164	-4,08	0,00
β_{CE_moto}	-0,101	0,0409	-2,48	0,01	0,0419	-2,42	0,02
β_{CV}	-0,157	0,0163	-9,61	0,00	0,0226	-6,93	0,00
β_{TE}	-0,0379	0,00808	-4,68	0,00	0,00859	-4,41	0,00
β_{TV}	-0,0376	0,00803	-4,68	0,00	0,00836	-4,49	0,00
β_{activ3}	1,64	0,623	2,62	0,01	1,06	1,54	0,12
β_{activ4}	2,67	0,779	3,43	0,00	0,404	6,62	0,00
β_{activ5}	2,53	0,804	3,15	0,00	0,863	2,93	0,00
α_{TV_auto}	-0,045	0,0134	-3,34	0,00	0,0197	-2,28	0,02
α_{TV_moto}	-0,0614	0,022	-2,79	0,01	0,0351	-1,75	0,08
α_{CE_auto}	-0,139	0,0247	-5,62	0,00	0,0308	-4,50	0,00
α_{CE_moto}	-0,101	0,0409	-2,48	0,01	0,0419	-2,42	0,02
σ_{panel}	5,09	1,45	3,51	0,00	1,22	4,16	0,00

Parámetro de escala el nido	Valor	Error Estándar	Estadístico t (Ho: $\lambda=1$)	p-valor	Error estándar robusto	Estadístico t robusto (Ho: $\lambda=1$)	p-valor
λ_1	1,53	0,298	1,77	0,08	0,417	1,27	0,21
λ_2	3,54	0,742	3,43	0,00	0,822	3,09	0,00
λ_3	1,00	Fijo					
λ_4	1,00	Fijo					

Número de observaciones:	672	Log de verosimilitud inicial:	-1.172,436
Rho cuadrado:	0,283	Log de verosimilitud final:	-840,334
Rho Cuadrado ajustado:	0,264	Razón de verosimilitud:	664,204
VSATVuso (\$/min)	0,2395	VSATVca (\$/min)**	0,2866
VSATE (\$/min)****	0,2414	VSATVcm (\$/min)***	0,3911
VSACC (\$/cuadra)*****	0,9873		

Notas: (1) El conjunto de elección que enfrenta el individuo está compuesto por las seis alternativas modales de elección. (*) VSATVuso: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje para trabajadores que poseen auto o moto disponible. (**) VSATVca: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje para trabajadores que están dispuestos a comprar automóvil. (***) VSATVcm: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje para trabajadores que están dispuestos a comprar motocicleta. (****) VSATE: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera. (***** VSACC: Valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino.

Los modelos de esta sección han permitido estimar la demanda de uso de corto plazo de los diferentes modos de transporte existentes en el contexto urbano, considerando las preferencias por tenencia y compra de vehículo particular ante variaciones de los niveles de servicio de los diferentes modos de transporte. Además, los cambios en los niveles de servicio están directamente relacionados con las políticas de transporte y tránsito urbano, razón por la cual estos modelos adquieren relevancia a la hora de diseñar políticas que intenten mejorar la movilidad urbana.

Sin embargo, estos modelos explican uso y preferencias por tenencia de vehículo particular, no explican la tenencia de vehículo propiamente dicha. Esta dimensión de decisión sólo se encuentra implícita en las diferentes categorías o nidos relacionados a la tenencia de vehículo. A los fines de incorporar la dimensión de tenencia de vehículo en las estimaciones de demanda, conjuntamente con las decisiones anteriores de uso de modo de transporte y preferencias por tenencia, en la siguiente sección se especifica y estima un modelo de elección simultánea de modo y tenencia de vehículo en función de características socioeconómicas además de los niveles de servicio de los modos de transporte.

9.1.2. Modelo logit anidado multidimensional para estimación conjunta de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte

A continuación, en la Tabla 23, se presenta la estimación del modelo logit anidado de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular que diferencia además las preferencias por tenencia de automóvil o motocicleta por parte de un individuo que no posee este tipo de vehículo particular. El modelo incluyó variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo particular. En esta especificación, se considera que el conjunto de elección que enfrentan los encuestados se compone de las 24 alternativas compuestas de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular.

La parte determinística de las funciones de utilidad lineal en los parámetros especificada y estimada para cada uno de las cuatro categorías con parámetro genérico del nido de tenencia del modelo logit anidado son:

$$V(auto)=V(1) = V(7) = V(13) =V(19) = CEA_{auto} + \beta_{TV} \cdot TV_{auto} + \beta_{CV} \cdot CV_{auto} + \beta_{CE_a} \cdot CE_{auto} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5 + \beta_{activ3} \cdot Activ3 + B_{activ4} \cdot Activ4 + B_{activ5} \cdot Activ5$$

$$V(moto) = V(2) = V(8) = V(14)=V(20)= CEA_{moto} + \beta_{TV} \cdot TV_{moto} + \beta_{CV} \cdot CV_{moto} + \beta_{CE_m} \cdot CE_{moto} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(taxi)=V(9)=V(15)=V(21)= CEA_{taxi} + \beta_{TV} \cdot TV_{taxi} + \beta_{TE} \cdot TE_{taxi} + \beta_{CV} \cdot CV_{taxi} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(bus)=V(4)=V(10)=V(16)=V(22)= CEA_{bus} + \beta_{TV} \cdot TV_{bus} + \beta_{TE} \cdot TE_{bus} + \beta_{CV} \cdot CV_{bus} + \beta_{CC} \cdot CC_{bus} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(dif) =V(5)=V(11)=V(17)=V(23)= \beta_{TV} \cdot TV_{dif} + \beta_{TE} \cdot TE_{dif} + \beta_{CV} \cdot CV_{dif} + \beta_{CC} \cdot CC_{dif} + \beta_{2,5} \cdot D_{2,5} + \beta_5 \cdot D_5$$

$$V(NE)=V(12)=V(18)=V(24) = CEA_{NE}$$

$$V(a_1) = \mu_a [CEA a_1 + \beta_{Ing_mas_4000_1} \cdot Ing_mas_5 + \beta_{QTRAB_1y3} \cdot QTRAB + 1/\mu_{m1} \cdot UME a_1]$$

$$\text{con } UME a_1 = \ln[\exp(\mu_{m1} \cdot V(auto)) + \exp(\mu_{m1} \cdot V(moto)) + \exp(\mu_{m1} \cdot V(taxi)) + \exp(\mu_{m1} \cdot V(bus)) + \exp(\mu_{m1} \cdot V(dif)) + \exp(\mu_{m1} \cdot V(NE))]$$

$$V(a_2) = \mu_a \cdot [CEA a_2 + 1/\mu_{m2} \cdot UME a_2]$$

$$\text{con } UME a_2 = \ln[\exp(\mu_{m2} \cdot V(auto)) + \exp(\mu_{m2} \cdot V(moto)) + \exp(\mu_{m2} \cdot V(taxi)) + \exp(\mu_{m2} \cdot V(bus)) + \exp(\mu_{m2} \cdot V(dif)) + \exp(\mu_{m2} \cdot V(NE))]$$

$$V(a_3) = \mu_a \cdot [CEA a_3 + \beta_{Ing_mas_4000_3} \cdot Ing_mas_4000 + \beta_{QTRAB_1y3} \cdot QTRAB + 1/\mu_{m3} \cdot UME a_3]$$

$$\text{con } UME a_3 = \ln[\exp(\mu_{m3} \cdot V(auto)) + \exp(\mu_{m3} \cdot V(moto)) + \exp(\mu_{m3} \cdot V(taxi)) + \exp(\mu_{m3} \cdot V(bus)) + \exp(\mu_{m3} \cdot V(dif)) + \exp(\mu_{m3} \cdot V(NE))]$$

$$V(a_4) = \mu_a \cdot [CEA a_4 + \beta_{Ing_menor_2500_4} \cdot Ing_menor_2500 + 1/\mu_{m4} \cdot UME a_4]$$

$$\text{con } UME a_4 = \ln[\exp(\mu_{m4} \cdot V(auto)) + \exp(\mu_{m4} \cdot V(moto)) + \exp(\mu_{m4} \cdot V(taxi)) + \exp(\mu_{m4} \cdot V(bus)) + \exp(\mu_{m4} \cdot V(dif)) + \exp(\mu_{m4} \cdot V(NE))]$$

Las variables explicativas de las alternativas compuestas elementales de elección de modo de transporte y preferencias por tenencia de vehículo particular son las mismas que las utilizadas en modelos anteriores, a saber: las variables de nivel de servicio de los modos de transporte, las variables ficticias de nivel de actividad laboral (3, 4 y 5) y las variables ficticias de distancia de viaje (para viajes de 2,5 kms y viajes de 5 kms). No se incluyeron coeficientes específicos para la estimación de las preferencias por compra de vehículo particular.

Las variables explicativas relacionadas a los nidos de tenencia son:

Ing_mas_4000: variable ficticia que asume el valor 1 si el ingreso familiar mensual es mayor o igual a \$4.000; y asume el valor 0 en otro caso.

Ing_menor_2500: variable ficticia que asume el valor 1 si el ingreso familiar mensual es menor a \$2.500; y asume el valor 0 en otro caso.

QTRAB: número de personas del hogar que trabajan, para la categoría de tenencia 1.

La variable *Ing_mas_4000* se incluyó como variable explicativa de los nidos de tenencia 1 y 3, relacionados a la tenencia de automóvil. Esta variable se incluyó considerando coeficientes específicos para cada una de estas categorías de tenencia de vehículo. Ambos parámetros estimados, tanto para la categoría de tenencia 1 (con automóvil y motocicleta) como para la categoría de tenencia 3 (con automóvil), resultaron positivos, evidenciando que si el ingreso familiar es superior a \$4000 aumenta la probabilidad de tenencia de automóvil y de tenencia de automóvil y motocicleta.

La variable *Ing_menos_2500* se incluyó como variable explicativa del nido de tenencia 4 (sin automóvil y sin motocicleta disponibles para viajar al trabajo) y el coeficiente estimado asociado a esta variable resultó positivo, evidenciando que las familias con menores niveles de ingreso poseen una mayor probabilidad de no poder comprar automóvil o motocicleta.

El coeficiente asociado a la variable $QTRAB$ como variable explicativa resultó significativa para los nidos de tenencia 1 y 3, el nido 1 hace referencia a la categoría de tenencia “con automóvil y motocicleta en el hogar” y el nido 3 a la categoría “sin motocicleta”, lo que implica que a medida que aumenta el número de trabajadores en el hogar aumenta la probabilidad de pertenencia del individuo a estas categorías de tenencia y disponibilidad de ambos modos de transporte para viajar al trabajo.

La estimación se realizó considerando el modelo normalizado desde arriba, es decir, se supone que $\mu_a = 1$. Además, el modelo estimado arrojó constantes específicas de las categorías de tenencia iguales a cero, excepto para la categoría 2 (sin automóvil). El único parámetro de escala de un nido de tenencia que resultó estadísticamente diferente de uno fue el asociado a la elección de modo de transporte de la categoría o nido de tenencia 1, es decir, μ_{m1} . Con lo cual, en esta estimación, existe una mayor correlación entre las preferencias de los individuos de la muestra que pertenecen a esta categoría en relación a las preferencias de los individuos que pertenecen a las demás categorías de tenencia.

Todos los coeficientes estimados resultaron con el signo esperado. El único coeficiente estimado que resultó con un nivel de significación superior al 5% fue el asociado a la variable Tiempo de Espera, con p-valor igual a 0,10.

Tabla 23

Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo)

Nombre del parámetro	Valor	Error Estándar	Test t-student	p-valor	Error estándar robusto	Test t-student robusto	p-valor
CEA_{Auto}	0,743	0,159	4,67	0,00	0,172	4,32	0,00
CEA_{Bus}	0,549	0,184	2,99	0,00	0,180	3,06	0,00
CEA_{NE}	-4,25	0,551	-7,72	0,00	0,556	-7,65	0,00
$CEA_{\alpha 2}$	-0,593	0,186	-3,19	0,00	0,199	-2,97	0,00
$\beta_{2,5}$	-3,03	0,562	-5,39	0,00	0,569	-5,32	0,00
β_5	-2,62	0,544	-4,82	0,00	0,553	-4,75	0,00
β_{CC}	-0,0824	0,0315	-2,62	0,01	0,0310	-2,66	0,01
β_{CE_a}	-0,0957	0,0131	-7,31	0,00	0,0136	-7,03	0,00
β_{CE_m}	-0,122	0,0233	-5,26	0,00	0,0248	-4,93	0,00
β_{CV}	-0,122	0,0149	-8,24	0,00	0,0145	-8,46	0,00
β_{TE}	-0,0158	0,00959	-1,65	0,10	0,00961	-1,65	0,10
β_{TV}	-0,0330	0,00845	-3,90	0,00	0,00787	-4,19	0,00
β_{activ3}	1,68	0,616	2,73	0,00	0,655	2,57	0,00
β_{activ4}	2,28	0,684	3,33	0,00	0,617	3,70	0,00
β_{activ5}	2,80	0,788	3,56	0,00	0,706	3,97	0,00
$\beta_{Ing_menos2500_4}$	0,923	0,235	3,93	0,00	0,237	3,89	0,00
$\beta_{Ing_mas_4000_1}$	0,92	0,313	2,94	0,00	0,323	2,85	0,00
$\beta_{Ing_mas_4000_3}$	2,27	0,250	9,09	0,00	0,256	8,88	0,00
β_{QTRAB_1y3}	0,180	0,0728	2,47	0,01	0,0828	2,18	0,03
Parámetro de escala el nido	Valor	Error Estándar	Estadístico t (Ho: $\lambda=1$)	p-valor	Error estándar robusto	Estadístico t robusto (Ho: $\lambda=1$)	p-valor
Nido_M1	1,56	0,252	2,24	0,03	0,261	2,16	0,03
Nido_M2	1,00	Fijo					
Nido_M3	1,00	Fijo					
Nido_M4	1,00	Fijo					
Número de observaciones:		570	Log de verosimilitud inicial:		-1.761,894		
Rho cuadrado:		0,194	Log de verosimilitud final:		-1.419,881		
Rho Cuadrado ajustado:		0,183	Razón de verosimilitud:		679,08		
VSATV (\$/min)*	0,2705						
VSATE (\$/min)**	0,1295						
VSACC (\$/cuadra)***	0,6754						

Notas aclaratorias: (*) VSATV: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje. (**) VSATE: Valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera. (***) VSACC: Valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino.

Dado que este modelo estimado no considera la corrección por la existencia de respuestas repetidas del mismo individuo, se procedió a estimar el modelo logit anidado con efectos de panel para respuestas repetidas. Los resultados evidenciaron que varios coeficientes estimados resultaron no significativos al 15% de nivel de significación, entre ellos el coeficiente asociado a la categoría de ingreso mayor a \$4.000 mensuales, la cantidad de trabajadores en el hogar para los nidos 1 y 3, la constante del nido 2 de tenencia y el coeficiente de escala del nido de tenencia que resultó no significativamente diferente de la unidad, con lo que el modelo colapsa finalmente al logit multinomial multidimensional. Por lo tanto, puede afirmarse que en el modelo especificado con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo, las personas de la categoría 1 (con automóvil y motocicleta disponible en el hogar) son personas con preferencias mejor definidas (menor varianza). Por otra parte, la heterogeneidad no observable de las preferencias asociada a las respuestas repetidas de cada individuo al experimento de elección no resultó significativa una vez que se incorporaron en la modelación las variables socioeconómicas explicativas, tanto en los nidos de tenencia de vehículo como en la estimación del uso de modo de transporte.

La valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje es de \$0,2705 por minuto; la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera de \$0,1295 por minuto y la valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas en origen o destino es de \$0,6754 por cuadra.

Queda evidenciado que la estimación de las valoraciones subjetivas de los ahorros de tiempos de viaje, espera y cuadras caminadas resultan sensibles a la especificación del modelo. En este último caso, nuevamente la valoración subjetiva de los ahorros cuadras caminadas es superior a la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje y esta última es superior a la valoración de los ahorros de tiempo de espera, como ocurría en los modelos logit multinomiales de elección de modo de transporte estimados presentados en las Tablas 14 a 17. Cabe señalar, que este resultado contrasta con la evidencia empírica internacional que indica que el valor de los ahorros de tiempo de espera es, en general, superior al valor de los ahorros de tiempo de viaje. Este resultado particular obtenido para la Ciudad de Córdoba en esta investigación podría estar relacionado a:

- a) la existencia de una menor valoración del tiempo de espera por parte de los consumidores debido a niveles de tiempos de espera en el mercado o a la percepción de la existencia de tiempos de espera superiores a los incluidos en el diseño del experimento, unido a los altos niveles de congestión vehicular en horas pico y a la inexistencia de medidas de planificación del tránsito que aseguren la regularidad de la

operación de los sistemas de autobús, que podría alcanzarse con la implementación de carriles exclusivos para estos modos de transporte,

b) un rango de variación estrecho del atributo “tiempo de espera” en el diseño del experimento de elección, situación que podrá corroborarse en futuras investigaciones, o

c) un tamaño muestral que resultó insuficiente a los fines de representar adecuadamente a toda la población bajo estudio.

En la siguiente sección, se presentan análisis de escenarios realizados con el modelo de la sección 9.1.1 presentado en la Tabla 21 y el modelo estimado en la sección 9.1.2 (Tabla 23). En la sección 10 se presentan las conclusiones de esta investigación.

9.2. Análisis de escenarios y cálculo de elasticidades a partir de los modelos de elección conjunta de tenencia de vehículo particular y modo de transporte

A partir de los modelos estimados y presentados en las Tablas 21 y 23 se han generado los mismos escenarios de política de la sección 8.2, en la cual se utilizaron los modelos de elección modal estimados para calcular las elasticidades de demanda.

En la Tabla 24 se presentan los pronósticos de cuota de mercado para cada modo de transporte y el cálculo de elasticidades de demanda a partir del modelo logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencias por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo. Este modelo se estimó como un modelo mixto de datos de panel y consideró como variables explicativas a los atributos del diseño del experimento de elección implementado y variables ficticias de distancia de viaje al trabajo.

Resulta preciso recordar aquí que los escenarios de política presentados corresponden a:

- Escenario base:
 - o velocidad promedio para viajes en automóvil, motocicleta y taxi: 30 km/h
 - o velocidad promedio para autobús: 18 km/h.
 - o velocidad promedio para autobús diferencial: 20 km/h.
 - o costos diarios de estacionamiento de automóvil y motocicleta: \$10.
 - o tiempos de espera para autobús, autobús diferencial y taxi: 10 minutos.
 - o tarifa de autobús: \$2,50.
 - o tarifa de autobús diferencial: \$5.
 - o costos de viaje en automóvil: \$0,50 por kilómetro recorrido.
 - o costos de viaje en motocicleta: \$0,25 por kilómetro recorrido.
- Escenario 1: disminución del 20% en los tiempos de viaje en autobús como consecuencia de un aumento de la velocidad promedio del 25%.
- Escenario 2: aumento en el costo de estacionamiento de automóvil de un 30%.
- Escenario 3: disminución del tiempo de espera del servicio de autobús diferencial de un 25%.
- Escenario 4: disminución del tiempo de espera de autobús del 25%.
- Escenario 5: aumento del costo de viaje en autobús del 28%.
- Escenario 6: supone un 50% de aumento en el costo de viaje en autobús diferencial.

- Escenario 7: incremento de los costos de viaje en automóvil y motocicleta en un 30%, aumento de las tarifas de autobús y autobús diferencial en un 28%, aumento de la tarifa de taxi del 40%.

Como puede apreciarse a partir del escenario 1, la elasticidad tiempo de viaje de la demanda de autobús es de -0,406. El escenario 2 evidencia que la demanda de compra y uso de automóvil particular es sensible a cambios en el costo de estacionamiento de automóvil, ya que aunque las elasticidades son menores a uno en valor absoluto, se trata de los valores más altos (en términos absolutos) de todas las elasticidades calculadas. La elasticidad de la demanda de uso de automóvil particular a cambios en los costos de estacionamiento es de -0,444 y la demanda de compra de automóvil a cambios en los costos de estacionamiento es de -0,676; evidenciando que el aumento de los costos de estacionamiento no solo prevendría el uso de automóvil particular sino que también disuadiría de la compra de automóvil con el objeto de usarlo para viajar al trabajo. Además, la elasticidad cruzada de la demanda de uso de autobús con respecto a los costos de estacionamiento es de 0,133. Por otra parte, la elasticidad tiempo de espera de la demanda de autobús diferencial es de -0,209 (Escenario 3) y la de autobús es de -0,18 (Escenario 4). Asimismo, la elasticidad cruzada de la demanda de uso de automóvil y motocicleta con respecto a cambios en el tiempo de espera de autobús son de 0,164 y 0,128 respectivamente, existiendo además una mayor sensibilidad de las preferencias por compra de vehículo ante cambios en los tiempos de espera de autobús evidenciado por una elasticidad de compra de automóvil de 0,358 (Escenario 4). A partir de los resultados del escenario 5, se evidencia que la elasticidad precio de la demanda de autobús es de -0,194; la elasticidad precio cruzada de la demanda de uso de automóvil ante cambios de tarifas de autobús es de 0,187 y la de motocicleta es de 0,135; existiendo una alta sensibilidad de las preferencias por compra de automóvil ante cambios de la tarifa de autobús evidenciado a partir de la elasticidad de 0,492 calculada.

La elasticidad precio de la demanda de autobús diferencial es de -0,344 y las elasticidades precio cruzadas de los demás modos de transporte ante cambios en la tarifa del servicio de autobús diferencial son relativamente bajas, todas menores a 0,1 (Escenario 6).

Tabla 24

Pronósticos de escenarios de política y elasticidades de demanda

Modelo logit anidado multidimensional mixto de datos de panel con nidos ficticios

(para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo)

Indicador	Pronósticos							
	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
P(auto) =	0,2023	0,1898	0,1754	0,2005	0,1941	0,2129	0,2084	0.1999
P(moto) =	0,1909	0,1785	0,1965	0,1891	0,1848	0,1981	0,1969	0.1996
P(taxi) =	0,0547	0,0538	0,0559	0,0543	0,0540	0,0555	0,0562	0.0370
P(autobús) =	0,4085	0,4417	0,4249	0,4051	0,4269	0,3863	0,4194	0.4222
P(diferencial) =	0,1429	0,1356	0,1466	0,1503	0,1396	0,1465	0,1183	0.1406
P(otro) =	0,0007	0,0006	0,0007	0,0006	0,0006	0,0007	0,0007	0.0007
P(compra auto) =	0,0384	0,0350	0,0306	0,0381	0,0349	0,0436	0,0392	0.0392
P(compra moto)=	0,1539	0,1495	0,1573	0,1527	0,1519	0,1561	0,1585	0.1613
Variación % prob. compra auto =		-8,66%	-20,27%	-0,66%	-8,95%	13,79%	2,30%	2,32%
Variación % prob. compra moto =		-2,85%	2,20%	-0,81%	-1,35%	1,44%	2,95%	4,76%
Variación % prob. uso automóvil =		-6,21%	-13,32%	-0,89%	-4,10%	5,23%	3,01%	-1,20%
Variación % prob. uso motocicleta =		-6,49%	2,93%	-0,93%	-3,20%	3,78%	3,15%	4,56%
Variación % prob. uso autobús =		8,11%	4,00%	-0,85%	4,51%	-5,43%	2,66%	3,35%
Variación % prob. uso autobús diferencial =		-5,07%	2,64%	5,23%	-2,29%	2,53%	-17,18%	-1,62%
Variación % prob. uso Taxi =		-1,69%	2,23%	-0,77%	-1,31%	1,40%	2,78%	-32,35%
Elasticidad de la demanda de compra de automóvil		0,433	-0,676	0,026	0,358	0,492	0,046	
Elasticidad de la demanda de compra de motocicleta		0,143	0,073	0,033	0,054	0,051	0,059	
Elasticidad de la demanda de uso de automóvil		0,310	-0,444	0,036	0,164	0,187	0,060	
Elasticidad de la demanda de uso de motocicleta		0,325	0,098	0,037	0,128	0,135	0,063	
Elasticidad de la demanda de autobús (uso)		-0,406	0,133	0,034	-0,180	-0,194	0,053	
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)		0,253	0,088	-0,209	0,092	0,090	-0,344	
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,085	0,074	0,031	0,052	0,050	0,056	

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 21.

El escenario 7 permite apreciar los cambios porcentuales en las probabilidades de elección de los diferentes modos de transporte ante modificaciones simultáneas de los costos de viaje, similares a las que se efectivizaron entre fines de 2011 y principios de 2012. Como resultado, disminuyen las probabilidades de uso de automóvil (-1,20%), de autobús diferencial (-1,62%) y de taxi (-32,35%) y aumentan las probabilidades de uso de motocicleta

(4,56%) y autobús (3,35%). Curiosamente, el modelo predice un aumento de las preferencias de compra de automóvil, este resultado se debe a que existirían diferentes percepciones por parte de una persona que posee automóvil y otra que no lo posee. Quien no posee automóvil estaría dispuesto a comprar uno para utilizarlo una vez que se enfrenta con una situación como la del escenario de política planteado. Por otra parte, quienes ya poseen automóvil optarían por utilizarlo menos y usar más el autobús. Considerando ambos efectos, aumenta la probabilidad de compra de automóvil y disminuye la probabilidad de uso del mismo. Este resultado, además, está determinado por el método de agregación por “enumeración muestral” utilizado, que pondera de manera diferente a las respuestas de cada entrevistado. Si se utiliza el método de agregación ingenua, que considera igual ponderación para todas las respuestas obtenidas, como resultado aumentaría la probabilidad de uso y compra de automóvil.

La Tabla 25 presenta el análisis de escenarios realizado a partir del modelo logit anidado multidimensional que considera la elección de modo de transporte y de tenencia de vehículo particular (expuesto en la Tabla 23).

Como puede apreciarse, las probabilidades de elección de los diferentes modos de transporte difieren significativamente de las estimadas con los anteriores modelos especificados. Sin embargo, dado que los pronósticos se basan en datos de preferencias declaradas, resulta posible y razonable que estos pronósticos sean diferentes. A diferencia del modelo anterior utilizado para realizar pronósticos y calcular elasticidades de demanda, este último modelo incorpora variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia en la estimación.

La elasticidad tiempo de viaje de la demanda de autobús es de -0,879. El escenario 2 evidencia que la demanda de compra y uso de automóvil particular es sensible a cambios en el costo de estacionamiento de automóvil, aunque en este caso ya no se trata de los valores más altos (en términos absolutos) de todas las elasticidades calculadas. La elasticidad de la demanda de uso de automóvil particular a cambios en los costos de estacionamiento es igual a -0,521 y la elasticidad de la demanda de compra de automóvil a cambios en los costos de estacionamiento es de -0,482; evidenciando nuevamente que el aumento de los costos de estacionamiento no solo previene al uso de automóvil particular sino que también disuade de la compra de automóvil con el objeto de usarlo para viajar al trabajo. Además, la elasticidad cruzada de la demanda de uso de autobús con respecto a los costos de estacionamiento es de 0,493. La elasticidad tiempo de espera de la demanda de autobús diferencial es de -0,152 (Escenario 3) y la de autobús es de -0,13 (Escenario 4). Asimismo, las elasticidades cruzadas de la demanda de uso de automóvil y motocicleta con respecto al

tiempo de espera de autobús son de 0,043 y 0,044 respectivamente, existiendo además una pequeña sensibilidad de las preferencias por compra de vehículo ante cambios en los tiempos de espera de autobús evidenciado por una elasticidad de compra de automóvil de 0,038 y de motocicleta de 0,041 (Escenario 4).

Tabla 25

Pronósticos de escenarios de política y elasticidades de demanda

Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo)

Indicador	Pronósticos							
	Escenario Base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7
P(auto) =	0,4782	0,4506	0,4035	0,4760	0,4730	0,4889	0,4930	0,4664
P(moto) =	0,0908	0,0848	0,1036	0,0904	0,0898	0,0929	0,0938	0,0960
P(taxi) =	0,0247	0,0241	0,0280	0,0246	0,0245	0,0252	0,0254	0,0133
P(autobus) =	0,2470	0,2904	0,2835	0,2458	0,2550	0,2302	0,2551	0,2622
P(diferencial) =	0,1100	0,1027	0,1257	0,1142	0,1088	0,1125	0,0821	0,1069
P(otro) =	0,0493	0,0474	0,0556	0,0490	0,0488	0,0502	0,0506	0,0552
P(compra auto) =	0,2488	0,2359	0,2129	0,2478	0,2464	0,2538	0,2560	0,2433
P(compra moto)=	0,0540	0,0506	0,0610	0,0537	0,0534	0,0551	0,0556	0,0569
Variación % prob. compra auto =		-5,20%	-14,45%	-0,43%	-0,96%	2,01%	2,88%	-2,22%
Variación % prob. compra moto =		-6,22%	13,03%	-0,46%	-1,02%	2,14%	3,10%	5,44%
Variación % prob. uso automóvil =		-5,77%	-15,62%	-0,47%	-1,08%	2,25%	3,10%	-2,46%
Variación % prob. uso motocicleta =		-6,65%	14,12%	-0,48%	-1,09%	2,27%	3,24%	5,76%
Variación % prob. uso autobús =		17,58%	14,80%	-0,49%	3,26%	-6,80%	3,27%	6,18%
Variación % prob. uso autobús diferencial =		-6,61%	14,23%	3,80%	-1,09%	2,28%	-25,33%	-2,87%
Variación % prob. uso Taxi =		-2,62%	13,22%	-0,40%	-0,94%	1,96%	2,66%	-46,35%
Elasticidad de la demanda de compra de automóvil		0,260	-0,482	0,017	0,038	0,072	0,058	
Elasticidad de la demanda de compra de motocicleta		0,311	0,434	0,019	0,041	0,076	0,062	
Elasticidad de la demanda de uso de automóvil		0,288	-0,521	0,019	0,043	0,080	0,062	
Elasticidad de la demanda de uso de motocicleta		0,333	0,471	0,019	0,044	0,081	0,065	
Elasticidad de la demanda de autobús (uso)		-0,879	0,493	0,020	-0,130	-0,243	0,065	
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)		0,331	0,474	-0,152	0,044	0,081	-0,507	
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,131	0,441	0,016	0,038	0,070	0,053	

Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 23.

A partir de los resultados del escenario 5, se evidencia que la elasticidad precio de la demanda de autobús es de -0,243; la elasticidad precio cruzada de la demanda de uso de

automóvil ante cambios de tarifas de autobús es de 0,08, la de motocicleta es de 0,081, la de autobús diferencial es de 0,081 y la de taxi es de 0,07; existiendo además una pequeña sensibilidad de las preferencias por compra de automóvil y de motocicleta ante cambios de la tarifa de autobús, con elasticidades de 0,072 para la compra de automóvil y de 0,076 para la compra de motocicleta. Del escenario 6 puede inferirse que existe una elasticidad precio de la demanda de autobús diferencial igual a -0,507, con elasticidades cruzadas de la demanda de uso de los demás modos de transporte inferiores a 0,10, como así también elasticidades pequeñas de la demanda de compra de automóvil o motocicleta ante cambios en la tarifa de autobús diferencial.

Los resultados derivados del escenario 7, que incorpora cambios simultáneos en los costos de transporte de los diferentes modos, evidencian disminuciones en la probabilidad de compra y uso de automóvil un tanto superiores al 2%, aumentos en la probabilidad de uso y compra de motocicleta cercanas entre un 5% y 6%, un aumento en la probabilidad de uso de autobús del 6,18% y una disminución del uso de taxi para viajar al trabajo de un 46,35%.

Nuevamente, la disminución de la probabilidad de uso del taxi resulta significativa, con lo cual antes de implementar una política como la del escenario 7, habría que estimar los efectos que provocaría esta importante disminución de la demanda de servicios de taxi y remis en la rentabilidad de los operadores, de manera de prevenir posibles situaciones de quiebra de operadores y disminución de puestos de trabajo y oferta en el sector. Sin embargo, debe recalarse que la disminución de la demanda de taxis/remis pronosticada se refiere únicamente a viajes al trabajo, con lo cual resultaría importante a los fines de la implementación de políticas poder ampliar este estudio para incorporar otros motivos de viaje, de manera de obtener un panorama completo de los cambios que ocurrirían en la demanda de servicios de transporte urbano.

Resulta importante puntualizar que según la experiencia de otros estudios de demanda de automóviles (según tipología de automóvil) realizados con encuestas de preferencias declaradas, los modelos puros de preferencias declaradas pueden arrojar pronósticos no realistas en algunos casos. Para obtener mejores pronósticos en relación a las cuotas de mercado de los modos de transporte analizados deben estimarse estos modelos de demanda integrando datos de preferencias reveladas con datos de preferencias declaradas (como el realizado por Dissanayake y Morikawa, 2010). Sin embargo, se reconoce que los estudios de preferencias declaradas pueden utilizarse para obtener la valoración subjetiva de los atributos de los modos de transporte considerados y para analizar las preferencias en el contexto de análisis de escenarios como los aquí presentados.

10. Conclusiones y líneas futuras de investigación

Esta investigación, desarrollada para optar al título de Doctor en Ciencias Económicas (Orientación: Economía) ha logrado un avance en el conocimiento empírico de la demanda de modos de transporte y tenencia de vehículo particular, considerando el principal propósito de viaje de los habitantes de la Ciudad de Córdoba (Argentina), los viajes al trabajo.

Se han desarrollado conceptualmente y aplicado empíricamente modelos de elección discreta para obtener estimaciones de la elección de modo de transporte para realizar viajes al trabajo y de elección *conjunta* de modo de transporte y tenencia de vehículo particular para viajar al trabajo.

El estudio se ha basado en la teoría económica de la utilidad aleatoria, en los desarrollos teóricos y empíricos de encuestas de preferencias declaradas basadas en el diseño de experimentos y en los modelos de elección discreta de valor extremo generalizado, entre ellos: modelo logit multinomial y modelo logit multinomial anidado, considerando además estructuras de datos de panel para respuestas repetidas.

En la segunda sección de esta tesis se afirmó que resulta indispensable desarrollar una aplicación de estimación y pronóstico de la demanda de viajes en la ciudad de Córdoba, considerando la decisión interdependiente de tenencia (o disponibilidad) de vehículo particular (auto o motocicleta) y de uso de modo de transporte, considerando los viajes al trabajo. Se propuso como objetivo de estudio modelar de manera conjunta la decisión o preferencia por tenencia de vehículo particular y uso de los distintos modos de transporte para viajar al trabajo. Esta interdependencia en las decisiones ha sido comprobada empíricamente, a partir de diferentes especificaciones de modelos de elección discreta.

A nivel regional, en América Latina aún no se han desarrollado modelos que estimen la elección conjunta de tenencia de vehículo particular y elección de modo de transporte. A nivel internacional, existe una primera investigación publicada al respecto (Dissanayake y Morikawa, 2010), que presenta resultados de la estimación, sin reportar aún los resultados de pronósticos realizados con el modelo estimado.

A los fines de lograr los objetivos propuestos, se han realizado las siguientes tareas:

- a) Diseño del experimento de elección de modo de transporte considerando las mejoras propuestas a partir de la experiencia piloto obtenida. Se trata de un experimento D-eficiente para el promedio de modelos de elección considerando la disponibilidad de las alternativas de elección de los entrevistados.
- b) Relevamiento de la encuesta, realizado en hogares a una muestra representativa de la población de trabajadores de la ciudad de Córdoba. La implementación del

relevamiento se efectuó a través de un primer contacto personal en los domicilios seleccionados, para luego realizar la encuesta de preferencias declaradas por internet o asistida por computadora en los hogares seleccionados.

- c) Estimación de los modelos logit multinomial y logit anidado, con datos de preferencias declaradas. Los modelos de preferencias declaradas se especificaron y estimaron considerando además la posible correlación serial existente en la serie de respuestas de preferencias declaradas de cada individuo (modelo logit mixto de datos de panel). La modelación se ha realizado en un contexto completo de preferencias declaradas, que ha permitido obtener la sensibilidad de las preferencias por tenencia de vehículo particular ante cambios en los niveles de servicio de los distintos modos de transporte, metodología que no se ha aplicado aún a nivel internacional.
- d) Análisis de los efectos de diferentes políticas de transporte urbano sobre la tenencia de vehículo particular y la elección de modo de transporte para viajar al trabajo.
- e) Estimación de elasticidades de demanda de los distintos modos de transporte y de compra de vehículo particular con respecto a cambios en las variables de nivel de servicio de los modos de transporte urbano.
- f) También se han calculado las valoraciones subjetivas de los ahorros de tiempo de viaje, tiempo de espera y cuadras caminadas en origen o destino, para los diferentes modelos estimados.

Entre las fortalezas de esta investigación a nivel internacional, se presentan:

- a) La modelación conjunta de elección de modo de transporte y preferencias por tenencia de vehículo, en un contexto de preferencias declaradas.
- b) La inclusión explícita de la elección de motocicleta para viajar al trabajo, a menudo no considerada en numerosos estudios a nivel internacional.
- c) La utilización del diseño eficiente promedio en un contexto de elección de tenencia y modo de transporte para realizar viajes al trabajo, metodología que resulta novedosa a nivel internacional.
- d) La modelación de elección de modo de transporte y preferencias de elección de modo y tenencia de vehículo utilizando datos de preferencias declaradas, que podrá ampliarse desarrollando modelos que utilicen datos de preferencias reveladas y declaradas de manera conjunta.
- e) La obtención elasticidades de demanda y de un análisis de escenarios de política, aún no reportados por Dissanayake y Morikawa (2010).
- f) La obtención de resultados de modelos que incorporan heterogeneidad de las preferencias, mediante la modelación considerando “componentes del error” (modelos con efectos de panel).

A modo de resumen, a continuación en la Tabla 26 se presentan las elasticidades de demanda calculadas con los diferentes modelos estimados considerando los distintos escenarios de política analizados.

Tabla 26

Elasticidades calculadas con los diferentes modelos estimados

Elasticidad	Con respecto a	Modelo de elección modal		Modelo de elección conjunta de modo y tenencia	
		Modelo LMN (mixto para respuestas repetidas)	Modelo Logit anidado (mixto para respuestas repetidas)	Logit anidado multidimensional mixto de panel (con nidos ficticios)	Logit anidado multidimensional
Elasticidad de la demanda de automóvil (uso)		0,369	0,088	0,310	0,288
Elasticidad de la demanda de motocicleta (uso)		0,120	0,029	0,325	0,333
Elasticidad de la demanda de autobús (uso)	Tiempo de viaje en autobús	-0,545	-0,452	-0,406	-0,879
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)		0,681	0,724	0,253	0,331
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,313	0,085	0,085	0,131
Elasticidad de la demanda de automóvil (uso)		-0,322	-0,473	-0,444	-0,521
Elasticidad de la demanda de motocicleta (uso)	Costo de estacionamiento	0,077	0,041	0,098	0,471
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)	de automóvil	0,108	0,206	0,133	0,493
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,082	0,201	0,088	0,474
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,237	0,248	0,074	0,441
Elasticidad de la demanda de automóvil (uso)		0,038	0,011	0,036	0,019
Elasticidad de la demanda de motocicleta (uso)	Tiempo de espera de autobús	0,007	0,002	0,037	0,019
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)	diferencial	0,057	0,075	0,034	0,020
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		-0,222	-0,172	-0,209	-0,152
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,052	0,016	0,031	0,016
Elasticidad de la demanda de automóvil (uso)		0,099	0,022	0,164	0,043
Elasticidad de la demanda de motocicleta (uso)		0,017	0,004	0,128	0,044
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)	Tiempo de espera de autobús	-0,130	-0,096	-0,180	-0,130
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,145	0,147	0,092	0,044
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,139	0,032	0,052	0,038
Elasticidad de la demanda de automóvil (uso)		0,108	0,069	0,187	0,080
Elasticidad de la demanda de motocicleta (uso)		0,018	0,012	0,135	0,081
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)	Costo de viaje en autobús	-0,143	-0,323	-0,194	-0,243
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,163	0,506	0,090	0,081
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,156	0,104	0,050	0,070
Elasticidad de la demanda de automóvil (uso)		0,074	0,053	0,060	0,062
Elasticidad de la demanda de motocicleta (uso)		0,013	0,010	0,063	0,065
Elasticidad de la demanda de autobús diferencial (uso)	Costo de viaje en autobús	0,114	0,412	0,053	0,065
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		-0,440	-0,927	-0,344	-0,507
Elasticidad de la demanda de taxi (uso)		0,102	0,077	0,056	0,053
Elasticidad de la compra de automóvil	Tiempo de viaje en autobús			0,433	0,260
Elasticidad de la compra de motocicleta				0,143	0,311
Elasticidad de la compra de automóvil	Costo de estacionamiento de automóvil			-0,676	-0,482
Elasticidad de la compra de motocicleta				0,073	0,434
Elasticidad de la compra de automóvil	Tiempo de espera de autobús			0,026	0,017
Elasticidad de la compra de motocicleta	diferencial			0,033	0,019
Elasticidad de la compra de automóvil	Tiempo de espera de autobús			0,358	0,038
Elasticidad de la compra de motocicleta				0,054	0,041
Elasticidad de la compra de automóvil	Costo de viaje en autobús			0,492	0,072
Elasticidad de la compra de motocicleta				0,051	0,076
Elasticidad de la compra de automóvil	Costo de viaje en autobús diferencial			0,046	0,058
Elasticidad de la compra de motocicleta				0,059	0,062

Si bien existen diferencias en los valores obtenidos calculados con los diferentes modelos estimados, se evidencia en todos los modelos que existe una alta sensibilidad de las preferencias por compra de automóvil particular a cambios en los costos de estacionamiento y en los tiempos de viaje en autobús. Por lo tanto, la implementación de vías exclusivas para el transporte público por autobús (que disminuyan los tiempos de viaje) y el aumento de los costos de estacionamiento se convierten en las principales instrumentos de política que desalienten el uso y la compra de vehículo particular para viajar al trabajo.

La elasticidad precio de la demanda de autobús presenta valores entre -0,143 y -0,323. La elasticidad precio de la demanda de autobús diferencial presenta valores entre -0,44 y -0,927. La elasticidad de la demanda de autobús a cambios en los tiempos de viaje en autobús presenta valores entre -0,406 y -0,879. La elasticidad de la demanda de autobús con respecto al tiempo de espera de autobús presenta valores entre -0,096 y -0,13. La elasticidad de la demanda de uso de automóvil particular con respecto a cambios en los costos de estacionamiento arroja valores entre -0,322 y -0,521.

Adicionalmente, del escenario 7 calculado con los diferentes modelos, se evidencia que un aumento simultáneo de los costos de transporte de todos los modos de transporte como el evidenciado en los primeros meses del año 2012, provocaría diferentes cambios en los diferentes modos de transporte según el modelo utilizado para calcular estas variaciones. En los modelos de elección de modo de transporte se evidencia un aumento del uso de motocicleta, autobús y taxi; mientras que en los modelos de elección conjunta de modo de transporte y tenencia de vehículo el resultado sería un aumento del uso de motocicleta y autobús, una disminución en el uso de automóvil y autobús diferencial y una notable disminución del uso de taxi, siempre considerando solamente los viajes al trabajo.

Por otra parte, los cálculos de las valoraciones subjetivas de los ahorros de tiempos de viaje, tiempos de espera y cuadras caminadas derivados de los modelos de elección de modo de transporte (presentados en las Tablas 14 a 17) y del modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (de la Tabla 23) evidencian que la valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas resultó superior a la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje y esta última resultó superior a la valoración de los ahorros de tiempo de espera. Los resultados de las valoraciones subjetivas calculadas con los modelos logit anidados multidimensionales con nidos ficticios, sin embargo, arrojaron una valoración subjetiva de los ahorros de cuadras caminadas superior a la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de espera, resultando esta última un tanto superior a la valoración subjetiva de los ahorros de tiempo de viaje. Ha quedado evidenciado que el cálculo de las valoraciones subjetivas de los ahorros de tiempos de viaje, espera y

cuadras caminadas resultan sensibles a la especificación del modelo econométrico estimado.

En función de los resultados obtenidos y los pronósticos realizados puede afirmarse entonces que, si el objetivo de las políticas de transporte urbano es mejorar la movilidad urbana y disminuir la congestión del tránsito existente en la ciudad de Córdoba, promoviendo el uso de los modos de transporte público, no resultará suficiente con mantener el “status quo” que significaría aumentar la oferta de servicios a medida que crece la población urbana. Reconociendo que no existe posibilidad de ampliar la red de calles y avenidas en el corto plazo (Marconetti, 2013), resulta apropiado y necesario mejorar los niveles de servicio de los modos de transporte público en relación a los modos de transporte privado de manera de generar los incentivos apropiados para aumentar la demanda de uso del transporte público. Adicionalmente, como se ha comprobado, existe una clara relación entre las preferencias de tenencia de vehículo privado y los niveles de servicio de los modos de transporte. Por otra parte, aumentos de los tiempos y costos de viaje en los servicios públicos, en especial el autobús, podrían impulsar en el corto plazo decisiones de compra de automóvil y motocicleta para realizar viajes al trabajo, agravando las actuales condiciones de congestión del tránsito urbano en horas pico.

Debe recordarse que en la presente investigación se ha determinado exógenamente cuáles son las alternativas que integran el conjunto de elección de cada individuo entrevistado considerando la disponibilidad de automóvil particular y motocicleta y de los modos de transporte público. Una posibilidad de ampliación del estudio se refiere a la modelación considerando modelos de generación probabilística de conjuntos de elección o de conjuntos de elección latente que permiten predecir la probabilidad de cada conjunto de elección factible dentro del conjunto de elección universal (Swait, 2001; Ben-Akiva y Bierlaire, 1999, 2003; Ben-Akiva y Boccara, 1995; Swait y Ben-Akiva, 1987).

Otra línea futura de investigación que puede derivarse a partir de esta tesis se relaciona con la posibilidad de conformar un panel de preferencias declaradas con una onda por año que servirá para analizar la evolución de las preferencias de los consumidores en el futuro en relación a los cambios que vayan ocurriendo en los niveles de servicio de los diferentes modos de transporte y a las políticas regulatorias que se implementen. Este análisis aportará valiosa información para el diseño y la evaluación de proyectos y políticas de transporte y tránsito urbano.

ANEXO 1

Formulario de la encuesta de movilidad a trabajadores del hogar



Identificación Catastral

Fracción	Radio	Manzana	Nº vivienda	Hog.				

Encuestador	

Supervisor	

Nro Encuesta		

Fecha:

Día	Mes	Día de la sem.		

Dirección:

Calle: N°

Barrio:

Composición del hogar:

1. ¿Cuántas personas viven en el hogar incluyendo niños?

2. ¿Cuántas de estas personas tienen 18 años o más?

3. ¿Cuántas de estas personas con 18 años o más, trabajan?

Vivienda:

3. Cantidad de habitaciones de uso exclusivo del hogar:

4. Cantidad de baños del hogar:

5. ¿La vivienda es propia o alquilada?: Propia Alquilada

Vehículos en el hogar:

6. ¿Cuántos automóviles en funcionamiento dispone el hogar?

6.1. ¿Qué modelos? (año)

7. ¿Cuántas camionetas en funcionamiento dispone el hogar?

7.1. ¿Qué modelos? (año)

8. ¿Cuántas motocicletas posee el hogar?

9. ¿Posee conexión a internet en su hogar? SI NO

10. ¿Posee conexión de banda ancha? SI NO NS

Referencias:

Relación de Parentesco (en relación al jefe)		Género	Poseción de carnet de conducir	Nivel de Instrucción
01 Jefe/a de hogar	06 Nieto	1 Mujer	0 No posee carnet	1 Sin estudios / Primario Incompleto
02 Cónyuge	07 Cuñado/a	2 Varón	1 Posee carnet auto	2 Primario completo/ secundario incompleto
03 Hijo/a	08 Padres/Suegros		2 Posee carnet moto	3 Sec. completo/ Terciario incompleto
04 Yerno/Nuera	09 Otros Fliares.		3 Posee ambos carnet	4 Terciario/ Universitario completo
05 Hermano/a	10 Serv. Doméstico		99 NS/NC	9 NS/NC
	11 Otros Componentes			
Actividad, Categoría Ocupacional				Periodicidad: (Frec. de viaje) Consignar el número de días a la semana que realiza este viaje.
01 Empleado (sector privado)	09 Trabajador familiar sin remunerar			
02 Empleado Público	10 Percibe Rentas o Participa de Ganancias.			
03 Jefe o Gerente en empresa privada con empleados a cargo.	11 Chofer de transporte o distribuidor móvil de mercaderías.			
04 Patrón o dueño de empresa (1 a 4 empleados)	12 Otros			
05 Patrón o dueño de empresa (5 a 20 empleados)				
06 Patrón o dueño de empresa (21 o más empleados)	99 NS/NC			
07 Autónomo / comerciante sin personal / profesional independiente				
08 Empleada doméstica				
Nota: Si posee más de un trabajo, declarar el que reporta la mayor parte de sus ingresos.				
Medio de transporte que utiliza:		Motivo del viaje:		
01 Caminando	09 Auto Particular o pick up Conductor	1 Concurrencia al trabajo	7 Regreso al hogar	
02 Omnibus urbano (común) o trolebús	10 Auto Particular o pick up Acompañante (o llevado por otra persona u otro miembro del hogar)	2 Por trabajo	8 Por recreación o entretenimiento	
03 Omnibus diferencial	11 Motocicleta	o en horario de trabajo	9 Otros motivos.	
04 Omnibus interurbano	12 Bicicleta	3 Por estudio	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> Nota: Los principales motivos de viaje a relevar son el 1 y 7. Los demás se presentan en caso de que se efectúe algún viaje intermedio por otro motivo tanto en la ida al trabajo como en el regreso del trabajo al hogar. </div>	
05 Transporte Escolar	13 Otro medio.	4 Llevar a alguien		
06 Transporte especial contratado	99 NS/NR	5 Por compras de bienes o servicios (médicos por ej.)		
07 Taxi		6 Para pagar impuestos, servicios u realizar otros trámites del hogar.		
08 Remis				

Anexo 2

**Ejemplos de sintaxis para la generación con Ngene de un modelo D-eficiente convencional
y del modelo D-eficiente promedio**

Sintaxis para la generación de diseños D-eficientes convencionales para una distancia de viaje de 10 km y cada una de las categorías relacionadas a la disponibilidad de alternativas modales

1) Diseño D-eficiente para distancia de viaje de 10 km y modelo 1 según alternativas disponibles (todas las alternativas disponibles)

```
Design
;alts = auto, moto, taxi, bus, dif, nochoice
;rows = 18
;eff = (mnl,d)
;block=3
;model:
U(auto) = A0[-0.425] + Atv[-0.0305] * TVa[15,20,25] + Acv[-0.05] * CVa[5,10] +
Ace[-0.227] * CEa[0,10,20] /
U(moto) = M0[-2.5] + Mtv[-0.0305] * TVm[15,20,25] + Mcv[-0.05] * CVm[2,4] +
Mce[-0.227] * CEm[0,5,10] /
U(taxi) = T0[-1.5] + Ttv[-0.03] * TVt[15,20,25] + Tte[-0.06] * TEt[5,10,15] +
Tcv[-0.16] * CVt[18,23,28] /
U(bus) = Ctv[-0.025] * TVbus[25,35,45] + Cte[-0.0584] * TEbus[10,20,30] +
Ccv[-0.44] * CVbus[2.5,3.5,4.5] + Ccc[-0.166] * CCbus[2,4,6] /
U(dif) = D0[-2.77] + Dtv[-0.012] * TVdif[20,25,30] + Dte[-0.0241] * TEdif[5,10,15]
+ Dcv[-0.14] * CVdif[5,7,9] + Dcc[-0.166] * CCdif[2,4,6] /
U(nochoice) = NC0[-3.51]
$
```

2) Diseño D-eficiente para distancia de viaje de 10 km y modelo 2 según alternativas disponibles (sin automóvil en el hogar)

```
Design
;alts = moto, taxi, bus, dif, nochoice
;rows = 18
;eff = (mnl,d)
;block=3
;model:
U(moto) = M0[-2.5] + Mtv[-0.0305] * TVm[15,20,25] + Mcv[-0.05] * CVm[2,4] +
Mce[-0.227] * CEm[0,5,10] /
U(taxi) = T0[-1.5] + Ttv[-0.03] * TVt[15,20,25] + Tte[-0.06] * TEt[5,10,15] +
Tcv[-0.16] * CVt[18,23,28] /
U(bus) = Ctv[-0.025] * TVbus[25,35,45] + Cte[-0.0584] * TEbus[10,20,30] +
Ccv[-0.44] * CVbus[2.5,3.5,4.5] + Ccc[-0.166] * CCbus[2,4,6] /
U(dif) = D0[-2.77] + Dtv[-0.012] * TVdif[20,25,30] + Dte[-0.0241] * TEdif[5,10,15]
+ Dcv[-0.14] * CVdif[5,7,9] + Dcc[-0.166] * CCdif[2,4,6] /
U(nochoice) = NC0[-3.51]
$
```

3) Diseño D-eficiente para distancia de viaje de 10 km y modelo 2 según alternativas disponibles (sin motocicleta en el hogar)

```
Design
;alts = auto, taxi, bus, dif, nochoice
;rows = 18
;eff = (mnl,d)
;block=3
;model:
U(auto) = A0[-0.425] + Atv[-0.0305] * TVa[15,20,25] + Acv[-0.05] * CVa[5,10] +
Ace[-0.227] * CEa[0,10,20] /
U(taxi) = T0[-1.5] + Ttv[-0.03] * TVt[15,20,25] + Tte[-0.06] * TEt[5,10,15] + Tcv[-
0.16] * CVt[18,23,28] /
U(bus) = Ctv[-0.025] * TVbus[25,35,45] + Cte[-0.0584] * TEbus[10,20,30] + Ccv[-
0.44] * CVbus[2.5,3.5,4.5] + Ccc[-0.166] * CCbus[2,4,6] /
U(dif) = D0[-2.77] + Dtv[-0.012] * TVdif[20,25,30] + Dte[-0.0241] * TEdif[5,10,15]
+ Dcv[-0.14] * CVdif[5,7,9] + Dcc[-0.166] * CCdif[2,4,6] /
U(nochoice) = NC0[-3.51]
$
```

4) Diseño D-eficiente para distancia de viaje de 10 km y modelo 2 según alternativas disponibles (sin motocicleta en el hogar)

```
Design
;alts = taxi, bus, dif, nochoice
;rows = 18
;eff = (mnl,d)
;block=3
;model:
U(taxi) = T0[-1.5] + Ttv[-0.03] * TVt[15,20,25] + Tte[-0.06] * TEt[5,10,15] + Tcv[-
0.16] * CVt[18,23,28] /
U(bus) = Ctv[-0.025] * TVbus[25,35,45] + Cte[-0.0584] * TEbus[10,20,30] + Ccv[-
0.44] * CVbus[2.5,3.5,4.5] + Ccc[-0.166] * CCbus[2,4,6] /
U(dif) = D0[-2.77] + Dtv[-0.012] * TVdif[20,25,30] + Dte[-0.0241] * TEdif[5,10,15]
+ Dcv[-0.14] * CVdif[5,7,9] + Dcc[-0.166] * CCdif[2,4,6] /
U(nochoice) = NC0[-3.51]
$
```

Sintaxis para la generación de un diseño D-eficiente promedio de las categorías de disponibilidad de alternativas (para una distancia de viaje de 10 km)

```
?Diseño promedio para viajes al trabajo de 10 kms con priors
Design
;alts(m1) = auto, moto, taxi, bus, dif, nochoice
;alts(m2) = moto, taxi, bus, dif, nochoice
;alts(m3) = auto, taxi, bus, dif, nochoice
;alts(m4) = taxi, bus, dif, nochoice
;rows = 18
;eff = 0.165 * M1(mnl,d) + 0.11 * M2(mnl,d) + 0.36 * M3(mnl,d) + 0.365 * M4(mnl,d)
;block=3
;model(M1):
U(auto) = A0[-0.425] + Atv[-0.0305] * TVa[15,20,25] + Acv[-0.05] * CVa[5,10] +
Ace[-0.227] * CEa[0,10,20] /
U(moto) = M0[-2.5] + Mtv[-0.0305] * TVm[15,20,25] + Mcv[-0.05] * CVm[2,4] + Mce[-
0.227] * CEm[0,5,10] /
U(taxi) = T0[-1.5] + Ttv[-0.03] * TVt[15,20,25] + Tte[-0.06] * TEt[5,10,15] + Tcv[-
0.16] * CVt[18,23,28] /
U(bus) = Ctv[-0.025] * TVbus[25,35,45] + Cte[-0.0584] * TEbus[10,20,30] + Ccv[-
0.44] * CVbus[2.5,3.5,4.5] + Ccc[-0.166] * CCbus[2,4,6] /
U(dif) = D0[-2.77] + Dtv[-0.012] * TVdif[20,25,30] + Dte[-0.0241] * TEDif[5,10,15]
+ Dcv[-0.14] * CVdif[5,7,9] + Dcc[-0.166] * CCDif[2,4,6] /
U(nochoice) = NC0[-3.51]

;model(M2):
U(moto) = M0[-2.5] + Mtv[-0.0305] * TVm[15,20,25] + Mcv[-0.05] * CVm[2,4] + Mce[-
0.227] * CEm[0,5,10] /
U(taxi) = T0[-1.5] + Ttv[-0.03] * TVt[15,20,25] + Tte[-0.06] * TEt[5,10,15] + Tcv[-
0.16] * CVt[18,23,28] /
U(bus) = Ctv[-0.025] * TVbus[25,35,45] + Cte[-0.0584] * TEbus[10,20,30] + Ccv[-
0.44] * CVbus[2.5,3.5,4.5] + Ccc[-0.166] * CCbus[2,4,6] /
U(dif) = D0[-2.77] + Dtv[-0.012] * TVdif[20,25,30] + Dte[-0.0241] * TEDif[5,10,15]
+ Dcv[-0.14] * CVdif[5,7,9] + Dcc[-0.166] * CCDif[2,4,6] /
U(nochoice) = NC0[-3.51]

;model(M3):
U(auto) = A0[-0.425] + Atv[-0.0305] * TVa[15,20,25] + Acv[-0.05] * CVa[5,10] +
Ace[-0.227] * CEa[0,10,20] /
U(taxi) = T0[-1.5] + Ttv[-0.03] * TVt[15,20,25] + Tte[-0.06] * TEt[5,10,15] + Tcv[-
0.16] * CVt[18,23,28] /
U(bus) = Ctv[-0.025] * TVbus[25,35,45] + Cte[-0.0584] * TEbus[10,20,30] + Ccv[-
0.44] * CVbus[2.5,3.5,4.5] + Ccc[-0.166] * CCbus[2,4,6] /
U(dif) = D0[-2.77] + Dtv[-0.012] * TVdif[20,25,30] + Dte[-0.0241] * TEDif[5,10,15]
+ Dcv[-0.14] * CVdif[5,7,9] + Dcc[-0.166] * CCDif[2,4,6] /
U(nochoice) = NC0[-3.51]

;model(M4):
U(taxi) = T0[-1.5] + Ttv[-0.03] * TVt[15,20,25] + Tte[-0.06] * TEt[5,10,15] + Tcv[-
0.16] * CVt[18,23,28] /
U(bus) = Ctv[-0.025] * TVbus[25,35,45] + Cte[-0.0584] * TEbus[10,20,30] + Ccv[-
0.44] * CVbus[2.5,3.5,4.5] + Ccc[-0.166] * CCbus[2,4,6] /
U(dif) = D0[-2.77] + Dtv[-0.012] * TVdif[20,25,30] + Dte[-0.0241] * TEDif[5,10,15]
+ Dcv[-0.14] * CVdif[5,7,9] + Dcc[-0.166] * CCDif[2,4,6] /
U(nochoice) = NC0[-3.51]
$
```

Anexo 3

**Diseños experimentales D-eficientes promedio de diferentes conjuntos de elección
(para diferentes distancias de viaje)**

- Resultados obtenidos con Ngene –

Resultado 1: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 2,5 km

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,138389	0,022834
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,117732	0,012951
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,102145	0,036772
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,082219	0,03001
					0,440486	0,102567

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,138389
A error	0,841869
B estimate	22,57439
S estimate	16133,11

Prior	atv	acv	ace	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	183,47	1575,96	0,71	661,24	16133,11	3,47	447,12	25,06	22,51	829,06	8,51	14,12	24,72	12971,27	348,56	65,33	48,05
Sp t-ratios	0,145	0,049	2,329	0,076	0,015	1,053	0,093	0,392	0,413	0,068	0,672	0,522	0,394	0,017	0,105	0,243	0,283

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,117732
A error	0,6331
B estimate	42,84464
S estimate	10443,49

Prior	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	431,59	10443,49	2,38	323,97	18,97	17,41	528,60	6,17	10,74	19,50	9502,98	279,45	51,83	39,82
Sp t-ratios	0,09	0,02	1,27	0,11	0,45	0,47	0,09	0,79	0,60	0,44	0,02	0,12	0,27	0,31

Resultado 1: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 2,5 km (continuación)

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,102145
A error	0,242261
B estimate	27,51236
S estimate	11774,04

Prior	atv	acv	ace	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	190,41	1595,80	0,71	409,82	22,58	20,72	770,03	7,62	12,85	22,49	11774,04	310,85	59,19	43,38
Sp t-ratios	0,14	0,05	2,33	0,10	0,41	0,43	0,07	0,71	0,55	0,41	0,02	0,11	0,25	0,30

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,082219
A error	0,153963
B estimate	52,84643
S estimate	8116,615

Prior	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	284,92	16,67	15,31	467,30	5,30	9,69	17,37	8116,62	238,26	44,18	34,85
Sp t-ratios	0,12	0,48	0,50	0,09	0,85	0,63	0,47	0,02	0,13	0,29	0,33

Resultado 1: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 2,5 km (continuación)

Design

Choice situation	auto.tva	auto.cva	auto.cca	moto.tvm	moto.cvm	moto.ccm	taxi.tvt	taxi.tet	taxi.cvt	col.tvcol	col.tecol	col.cvcol	col.cccol	dif.tvdif	dif.tedif	dif.cvdif	dif.ccdif	Block
1	4	2,5	0	6	0,5	0	4	5	5	8	20	3,5	4	5	10	9	4	1
2	10	2,5	10	6	0,5	5	4	5	9	8	30	4,5	2	8	5	5	2	1
3	10	2,5	20	10	0,5	10	8	15	9	8	30	2,5	6	5	15	5	6	1
4	4	1,25	10	10	1	0	8	5	5	12	10	4,5	2	8	15	7	4	1
5	10	2,5	0	10	0,5	0	4	10	7	8	20	3,5	4	5	15	5	4	3
6	10	2,5	10	6	1	10	8	10	7	12	20	4,5	4	8	15	5	2	2
7	4	1,25	0	10	0,5	5	8	5	7	8	20	2,5	4	5	10	7	4	2
8	4	1,25	20	10	0,5	10	4	5	9	12	30	3,5	6	8	10	9	6	3
9	4	2,5	20	6	0,5	10	8	10	9	12	20	4,5	6	5	5	5	2	3
10	10	1,25	0	6	1	0	4	10	5	8	10	3,5	4	5	10	9	2	2
11	10	1,25	10	10	0,5	5	8	15	5	12	30	2,5	6	8	5	5	6	1
12	10	1,25	0	10	1	5	4	10	7	12	10	2,5	2	8	10	7	4	2
13	4	1,25	10	6	1	5	4	15	5	8	10	3,5	6	8	15	7	6	3
14	4	2,5	20	6	1	10	4	15	5	12	30	2,5	2	5	5	9	6	2
15	10	2,5	10	6	0,5	0	8	5	7	12	10	2,5	4	5	5	7	6	3
16	10	1,25	20	10	1	5	8	15	9	8	30	4,5	2	5	15	9	2	3
17	4	2,5	0	10	1	0	8	10	7	8	10	3,5	2	8	10	7	4	2
18	4	1,25	20	6	1	10	4	15	9	12	20	4,5	6	8	5	9	2	1

Resultado 2: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 5 km

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,107216	0,017691
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,079652	0,008762
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,084344	0,030364
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,056402	0,020587
					0,327615	0,077403

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,107216
A error	0,326786
B estimate	18,53376
S estimate	3677,04

Prior	atv	acv	ace	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	398,20	1519,09	0,71	644,87	3677,04	3,24	919,98	42,89	11,24	99,88	7,87	11,36	22,62	3119,89	332,25	61,60	41,58
Sp t-ratios	0,10	0,05	2,32	0,08	0,03	1,09	0,06	0,30	0,58	0,20	0,70	0,58	0,41	0,04	0,11	0,25	0,30

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,079652
A error	0,223062
B estimate	33,38634
S estimate	2402,484

Prior	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	405,3037	2402,484	1,903412	623,2778	32,07338	8,41809	75,74023	5,644184	9,443862	15,43189	2148,281	252,8405	47,67914	33,1204
Sp t-ratios	0,097357	0,039988	1,420658	0,078508	0,346086	0,675537	0,225213	0,825003	0,637795	0,498938	0,042287	0,123263	0,283852	0,340571

Resultado 2: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 5 km (continuación)

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,084344
A error	0,203203
B estimate	22,30253
S estimate	2790,783

Prior	atv	acv	ace	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	415,42	1596,15	0,72	829,09	39,51	10,03	91,96	7,25	10,38	20,69	2790,78	305,11	54,97	38,14
Sp t-ratios	0,10	0,05	2,31	0,07	0,31	0,62	0,20	0,73	0,61	0,43	0,04	0,11	0,26	0,32

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,056402
A error	0,112146
B estimate	44,72703
S estimate	1681,51

Prior	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	505,71	27,29	6,66	68,50	4,94	8,66	13,94	1681,51	208,91	38,17	28,42
Sp t-ratios	0,09	0,38	0,76	0,24	0,88	0,67	0,52	0,05	0,14	0,32	0,37

Resultado 2: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 5 km (continuación)

Design

Choice situation	auto.tva	auto.cva	auto.cea	moto.tvm	moto.cvm	moto.cem	taxi.tvt	taxi.tet	taxi.cvt	col.tvcol	col.tecol	col.cvcol	col.cccol	dif.tvdif	dif.tedif	dif.cvdif	dif.ccdif	Block
1	8	2,5	0	12	1,5	0	12	10	18	18	20	3,5	4	18	5	9	2	1
2	8	1,25	0	8	0,5	5	12	10	14	12	10	3,5	2	12	10	7	4	1
3	8	2,5	10	8	1,5	5	8	15	14	24	10	4,5	2	18	5	5	2	3
4	12	1,25	20	8	1,5	10	8	5	18	12	10	4,5	6	18	10	9	6	2
5	8	2,5	0	8	0,5	0	12	15	14	18	20	3,5	6	18	10	7	4	3
6	12	2,5	20	8	0,5	10	12	15	10	18	30	4,5	4	12	15	5	2	1
7	8	1,25	20	12	0,5	10	12	15	14	12	30	4,5	4	12	5	5	6	2
8	12	1,25	10	12	1,5	5	8	5	10	18	20	4,5	4	18	5	5	2	1
9	12	2,5	0	8	1,5	0	8	10	14	12	10	2,5	2	12	10	7	4	1
10	8	2,5	10	12	0,5	5	12	5	10	12	10	2,5	6	18	15	7	4	2
11	12	2,5	10	12	1,5	10	8	15	10	24	20	2,5	6	12	5	5	6	2
12	12	1,25	20	12	0,5	10	12	10	18	18	30	3,5	6	12	5	9	2	3
13	12	1,25	0	12	1,5	0	12	5	10	24	20	3,5	4	12	15	7	4	3
14	12	2,5	10	12	0,5	0	8	10	18	24	20	4,5	2	18	10	9	4	2
15	8	1,25	20	8	0,5	10	12	5	18	24	30	2,5	2	18	15	7	6	1
16	8	1,25	10	8	1,5	5	8	15	14	24	10	2,5	6	12	10	9	6	2
17	8	2,5	20	12	1,5	5	8	5	10	12	30	2,5	2	12	15	9	2	3
18	12	1,25	0	8	0,5	0	8	10	18	18	30	3,5	4	18	15	5	6	3

Resultado 3: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 10 km

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,065918	0,010876
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,062987	0,006929
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,057079	0,020548
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,054177	0,019775
					0,24016	0,058128

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,065918
A error	0,154476
B estimate	6,996597
S estimate	1031,382

Prior	atv	acv	ace	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	87,33	101,28	0,70	121,59	884,86	2,70	457,63	115,75	27,48	42,16	8,15	13,73	23,67	1031,38	304,91	48,24	39,42
Sp t-ratios	0,21	0,19	2,34	0,18	0,07	1,19	0,09	0,18	0,37	0,30	0,69	0,53	0,40	0,06	0,11	0,28	0,31

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,062987
A error	0,134453
B estimate	11,84364
S estimate	829,7317

Prior	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	87,10	606,28	2,18	358,41	92,12	21,01	32,40	6,29	10,04	16,90	829,73	217,90	39,95	30,83
Sp t-ratios	0,21	0,08	1,33	0,10	0,20	0,43	0,34	0,78	0,62	0,48	0,07	0,13	0,31	0,35

Resultado 3: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 10 km (continuación)

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,057079
A error	0,126991
B estimate	8,589976
S estimate	919,8828

Prior	atv	acv	ace	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	82,54	99,43	0,73	407,67	101,70	23,23	37,65	7,41	12,47	21,65	919,88	270,71	43,64	33,90
Sp t-ratios	0,22	0,20	2,29	0,10	0,19	0,41	0,32	0,72	0,56	0,42	0,06	0,12	0,30	0,34

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,054177
A error	0,11089
B estimate	15,56196
S estimate	717,6168

Prior	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior va	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	300,78	76,99	16,72	27,60	5,59	8,65	14,59	717,62	182,63	35,26	25,29
Sp t-ratios	0,11	0,22	0,48	0,37	0,83	0,67	0,51	0,07	0,15	0,33	0,39

Resultado 3: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 10 km (continuación)

Design

Choice situation	auto.tva	auto.cva	auto.cea	moto.tvm	moto.cvm	moto.cem	taxi.tvt	taxi.tet	taxi.cvt	col.tvcol	col.tecol	col.cvcol	col.cccol	dif.tvdif	dif.tedif	dif.cvdif	dif.ccdif	Block
1	20	10	20	20	4	10	20	10	28	45	10	4,5	2	30	5	5	2	1
2	15	5	20	25	2	10	25	15	18	35	30	3,5	6	30	15	5	6	2
3	25	10	10	25	4	5	20	10	28	45	20	2,5	2	20	5	9	4	2
4	20	5	0	15	4	0	25	10	23	35	20	3,5	2	25	10	7	4	3
5	20	10	20	20	4	10	25	5	18	25	30	4,5	2	30	10	9	6	2
6	15	10	0	15	2	0	20	15	23	25	20	2,5	2	25	15	7	4	1
7	25	10	0	20	4	5	25	15	23	35	30	3,5	4	25	15	7	4	1
8	15	5	10	15	4	0	15	5	18	35	20	3,5	6	25	5	7	6	1
9	25	10	10	25	2	0	15	5	28	25	30	2,5	6	20	10	9	6	3
10	25	10	10	15	2	5	15	5	18	45	20	4,5	4	20	5	5	6	2
11	25	5	10	25	4	5	25	10	23	45	10	2,5	6	20	15	5	2	2
12	20	5	20	15	2	10	15	15	18	25	10	4,5	6	30	15	9	4	2
13	20	5	0	25	2	5	25	5	23	45	20	3,5	4	30	5	5	2	3
14	15	5	20	20	2	10	15	5	28	35	30	4,5	4	20	5	9	2	1
15	20	5	20	15	4	10	15	15	18	45	30	3,5	4	30	10	9	2	3
16	15	10	0	20	2	5	20	10	28	35	10	2,5	6	25	10	7	6	3
17	15	10	10	25	4	0	20	10	28	25	10	4,5	4	20	15	5	2	3
18	25	5	0	20	2	0	20	15	23	25	10	2,5	2	25	10	7	4	1

Resultado 4: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 15 km

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,064235	0,010599
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,060719	0,006679
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,055309	0,019911
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,05228	0,019082
					0,232542	0,056271

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,064235
A error	0,162664
B estimate	4,914255
S estimate	953,048

Prior	atv	acv	ace	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	82,79	106,94	0,73	124,98	953,05	2,96	484,91	135,92	26,88	32,54	9,01	15,39	24,50	517,34	281,05	50,33	37,93
Sp t-ratios	0,22	0,19	2,30	0,18	0,06	1,14	0,09	0,17	0,38	0,34	0,65	0,50	0,40	0,09	0,12	0,28	0,32

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,060719
A error	0,142675
B estimate	9,54983
S estimate	619,1475

Prior	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	82,99	619,15	2,15	379,27	111,29	20,15	22,28	6,54	11,56	18,95	418,12	222,56	44,06	30,12
Sp t-ratios	0,22	0,08	1,34	0,10	0,19	0,44	0,42	0,77	0,58	0,45	0,10	0,13	0,30	0,36

Resultado 4: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 15 km (continuación)

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,055309
A error	0,13451
B estimate	6,32454
S estimate	447,6794

Prior	atv	acv	ace	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	81,01	106,15	0,73	425,67	120,69	24,40	30,19	8,30	14,13	22,65	447,68	249,41	43,87	34,00
Sp t-ratios	0,22	0,19	2,29	0,09	0,18	0,40	0,36	0,68	0,52	0,41	0,09	0,12	0,30	0,34

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,05228
A error	0,122448
B estimate	12,375
S estimate	338,2154

Prior	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	316,09	93,88	17,07	19,87	5,89	10,45	17,27	338,22	185,69	37,30	25,28
Sp t-ratios	0,11	0,20	0,47	0,44	0,81	0,61	0,47	0,11	0,14	0,32	0,39

Resultado 4: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 15 km (continuación)

Design

Choice situation	auto.tva	auto.cva	auto.cea	moto.tvm	moto.cvm	moto.cem	taxi.tvt	taxi.tet	taxi.cvt	col.tvcol	col.tecol	col.cvcol	col.cccol	dif.tvdif	dif.tedif	dif.cvdif	dif.ccdif	Block
1	20	5	0	20	4	0	25	15	23	35	10	2,5	2	38	10	9	4	1
2	20	5	0	30	2	0	25	15	23	45	20	3,5	4	45	15	7	4	3
3	25	5	20	30	2	5	30	15	18	45	20	4,5	6	30	5	9	2	1
4	30	5	0	25	4	5	20	5	18	60	20	3,5	4	38	10	7	6	2
5	20	10	0	20	2	0	25	10	28	60	20	3,5	4	30	10	7	6	1
6	25	10	20	25	4	10	20	5	28	45	30	3,5	6	30	15	9	6	3
7	25	5	20	25	2	10	20	5	18	35	30	4,5	2	38	10	9	6	3
8	30	5	10	20	4	0	30	10	23	45	30	3,5	4	45	5	5	2	3
9	30	10	0	20	2	5	30	10	23	35	10	4,5	2	38	10	7	4	3
10	30	10	10	30	4	5	25	10	28	45	30	3,5	4	45	5	5	6	1
11	20	5	10	30	2	0	30	15	23	35	10	2,5	6	45	10	7	4	2
12	25	5	20	20	4	10	20	5	28	60	10	4,5	6	30	5	5	6	2
13	25	10	20	25	4	10	30	5	18	60	30	2,5	6	45	5	9	2	2
14	30	10	10	25	2	10	20	10	28	35	30	2,5	2	30	15	5	2	2
15	20	10	10	30	4	0	30	5	18	45	20	4,5	4	38	15	5	2	1
16	30	10	0	25	2	5	25	10	28	35	10	2,5	6	38	15	7	4	2
17	20	10	10	30	4	5	25	15	23	60	10	2,5	2	30	5	5	2	3
18	25	5	20	20	2	10	20	15	18	60	20	4,5	2	45	15	9	4	1

Resultado 5: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 20 km

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,089306	0,014735
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,102167	0,011238
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,090453	0,032563
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,114505	0,041794
					0,39643	0,100331

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,089306
A error	0,492686
B estimate	0,22783
S estimate	7878,312

Prior	atv	acv	ace	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	88,80	29,84	0,91	139,08	253,32	3,77	7878,31	2078,13	413,43	19,87	8,76	14,78	25,53	509,95	247,27	46,13	41,04
Sp t-ratios	0,21	0,36	2,06	0,17	0,12	1,01	0,02	0,04	0,10	0,44	0,66	0,51	0,39	0,09	0,12	0,29	0,31

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,102167
A error	0,468787
B estimate	0,402183
S estimate	6513,713

Prior	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	90,18	180,00	2,63	6513,71	1747,23	297,24	17,23	7,30	12,16	21,13	418,18	207,82	40,06	30,62
Sp t-ratios	0,21	0,15	1,21	0,02	0,05	0,11	0,47	0,73	0,56	0,43	0,10	0,14	0,31	0,35

Resultado 5: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 20 km

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,090453
A error	0,529803
B estimate	0,34063
S estimate	7320,867

Prior	atv	acv	ace	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	91,63	31,46	0,88	7320,87	1929,04	366,28	18,72	8,13	13,51	23,61	470,98	227,04	42,33	37,73
Sp t-ratios	0,20	0,35	2,09	0,02	0,04	0,10	0,45	0,69	0,53	0,40	0,09	0,13	0,30	0,32

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,114505
A error	0,507459
B estimate	0,636613
S estimate	5915,731

Prior	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	5915,73	1575,53	242,91	15,92	6,58	10,68	19,19	367,82	186,53	36,07	26,60
Sp t-ratios	0,03	0,05	0,13	0,49	0,76	0,60	0,45	0,10	0,14	0,33	0,38

Resultado 5: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 20 km

Design

Choice situation	auto.tva	auto.cva	auto.cea	moto.tvm	moto.cvm	moto.cem	taxi.tvt	taxi.tet	taxi.cvt	col.tvcol	col.tecol	col.cvcol	col.cccol	dif.tvdif	dif.tedif	dif.cvdif	dif.ccdif	Block
1	39	10	0	29	8	0	29	15	42	57	30	3,5	4	55	10	7	4	1
2	29	20	0	39	8	5	39	10	42	57	20	3,5	6	41	5	7	6	1
3	29	20	0	29	8	0	33	10	42	46	10	2,5	2	48	10	7	6	3
4	29	10	20	33	4	10	39	5	35	75	10	4,5	2	41	5	9	4	1
5	39	10	10	33	4	10	29	5	35	46	30	3,5	4	55	15	5	6	1
6	29	10	20	33	8	10	29	15	35	75	20	2,5	6	41	15	9	2	1
7	33	20	10	39	8	5	39	15	35	46	10	4,5	2	48	10	7	6	3
8	39	20	0	39	4	0	33	10	49	57	20	3,5	6	41	5	5	2	2
9	39	10	20	33	8	10	29	15	35	75	10	4,5	6	55	5	9	2	3
10	29	10	10	39	4	5	29	5	42	46	30	3,5	2	48	15	9	4	2
11	33	10	20	29	4	10	39	5	35	57	30	2,5	6	41	5	5	6	3
12	33	20	10	29	4	5	33	5	49	57	20	4,5	4	55	15	5	4	2
13	33	20	10	33	8	5	33	10	49	75	30	3,5	4	41	15	5	2	3
14	39	20	10	39	8	0	39	15	42	75	10	2,5	2	48	15	9	4	2
15	33	10	20	33	4	10	29	5	42	46	10	2,5	6	55	10	9	2	3
16	39	20	0	29	4	0	39	10	49	57	20	4,5	4	48	10	7	6	2
17	33	20	20	29	8	5	33	10	49	75	30	2,5	2	55	5	5	2	1
18	29	10	0	39	4	0	33	15	49	46	20	4,5	4	48	10	7	4	2

Resultado 6: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 25 km

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,106875	0,017634
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,132289	0,014552
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,11329	0,040784
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,159224	0,058117
					0,511678	0,131087

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,106875
A error	1,33535
B estimate	0,047058
S estimate	24550,48

Prior	atv	acv	ace	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	83,94	18,46	1,03	153,48	175,78	3,96	24550,48	6560,92	1339,06	20,87	10,47	16,90	27,80	336,82	276,35	50,28	35,18
Sp t-ratios	0,21	0,46	1,93	0,16	0,15	0,98	0,01	0,02	0,05	0,43	0,61	0,48	0,37	0,11	0,12	0,28	0,33

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,132289
A error	1,327927
B estimate	0,084009
S estimate	22104,94

Prior	mtv	mcv	mce	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	108,43	123,40	3,10	22104,94	5886,46	955,54	16,58	7,98	14,60	22,01	287,94	223,39	41,61	30,67
Sp t-ratios	0,19	0,18	1,11	0,01	0,03	0,06	0,48	0,69	0,51	0,42	0,12	0,13	0,30	0,35

Resultado 6: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 25 km (continuación)

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,11329
A error	1,46189
B estimate	0,064193
S estimate	22838,21

Prior	atv	acv	ace	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	84,31	18,47	0,97	22838,21	6108,80	1178,97	19,43	9,60	15,28	25,68	310,55	256,51	47,02	32,53
Sp t-ratios	0,21	0,46	1,99	0,01	0,03	0,06	0,44	0,63	0,50	0,39	0,11	0,12	0,29	0,34

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,159224
A error	1,472121
B estimate	0,130865
S estimate	20035,97

Prior	ttv	tte	tcv	ctv	cte	ccv	ccc	dtv	dte	dcv	dcc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,025	-0,0584	-0,44	-0,166	-0,012	-0,0241	-0,14	-0,166
Sp estimates	20035,97	5325,19	791,64	14,67	6,91	12,95	20,11	256,84	197,36	37,13	27,81
Sp t-ratios	0,01	0,03	0,07	0,51	0,75	0,54	0,44	0,12	0,14	0,32	0,37

Resultado 6: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 25 km (continuación)

Design

Choice situation	auto.tva	auto.cva	auto.cca	moto.tvm	moto.cvm	moto.ccm	taxi.tvt	taxi.tet	taxi.cvt	col.tvcol	col.tecol	col.cvcol	col.cccol	dif.tvdif	dif.tedif	dif.cvdif	dif.ccdif	Block
1	35	12,5	20	45	10	5	35	15	42	88	20	4,5	4	68	5	5	2	1
2	40	25	20	40	5	10	35	5	42	68	20	4,5	6	50	15	5	2	2
3	40	25	20	45	5	0	40	10	58	68	20	4,5	2	58	10	7	6	1
4	45	12,5	10	35	5	5	35	5	50	68	20	4,5	6	50	5	9	2	1
5	45	25	10	35	10	5	45	5	42	56	30	2,5	2	68	10	7	6	2
6	35	12,5	0	35	10	0	40	10	58	68	30	3,5	4	58	15	9	4	1
7	45	25	0	35	5	0	45	15	50	88	10	2,5	2	68	15	7	4	2
8	35	12,5	0	35	5	5	40	10	58	56	10	2,5	2	58	10	7	4	2
9	40	25	10	45	5	10	45	5	42	88	30	3,5	4	50	5	5	6	1
10	45	12,5	10	45	10	5	40	10	58	56	10	4,5	2	50	5	5	2	3
11	35	25	10	35	5	10	45	10	50	68	30	3,5	6	68	10	5	6	3
12	45	25	0	40	10	5	40	15	50	56	10	3,5	6	50	15	5	4	1
13	40	12,5	20	40	10	10	40	10	58	56	10	2,5	6	68	5	9	2	2
14	35	12,5	10	45	5	0	35	5	50	56	30	2,5	4	68	15	7	4	3
15	40	25	20	40	5	10	35	15	42	88	10	2,5	6	58	15	9	2	3
16	45	12,5	0	45	10	0	35	5	58	88	20	3,5	4	58	5	7	6	3
17	35	25	0	40	10	0	45	15	50	68	30	3,5	4	50	10	9	4	3
18	40	12,5	20	40	10	10	45	15	42	88	20	4,5	2	58	10	9	6	2

ANEXO 4

Evaluación del diseño para modelo con parámetros genéricos

**Diseños experimentales D-eficientes promedio
de diferentes conjuntos de elección (para diferentes distancias de viaje)**

Resultado 1: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 2,5 km

Modelo con parámetros genéricos

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,022353	0,003688
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,030367	0,00334
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,022713	0,008177
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,029316	0,0107
					0,104749	0,025906

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,022353
A error	0,041244
B estimate	9,837733
S estimate	133,664505

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	86,53	133,66	0,80	4,41	11,62
Sp t-ratios	0,21	0,17	2,19	0,93	0,57

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,030367
A error	0,047104
B estimate	18,840392
S estimate	115,946922

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	115,95	114,80	3,89	3,66	10,76
Sp t-ratios	0,18	0,18	0,99	1,02	0,60

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,022713
A error	0,040912
B estimate	14,964428
S estimate	132,166645

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	93,73	132,17	0,83	4,37	11,24
Sp t-ratios	0,20	0,17	2,15	0,94	0,58

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,029316
A error	0,049925
B estimate	27,054998
S estimate	155,375551

Prior	atv	ate	acv	acc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,166
Sp estimates	155,38	3,55	12,09	11,07
Sp t-ratios	0,16	1,04	0,56	0,59

Resultado 2: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 5 km

Modelo con parámetros genéricos

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,014756	0,002435
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,017882	0,001967
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,014702	0,005293
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,018152	0,006626
					0,065493	0,01632

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,014756
A error	0,02797
B estimate	9,888169
S estimate	43,901967

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	34,13	43,90	0,77	3,71	12,44
Sp t-ratios	0,34	0,30	2,24	1,02	0,56

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,017882
A error	0,030979
B estimate	21,489607
S estimate	37,047155

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	32,96	37,05	3,09	3,19	10,92
Sp t-ratios	0,34	0,32	1,11	1,10	0,59

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,014702
A error	0,027286
B estimate	15,709594
S estimate	43,489426

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	34,69	43,49	0,80	3,59	11,94
Sp t-ratios	0,33	0,30	2,19	1,03	0,57

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,018152
A error	0,034832
B estimate	19,435378
S estimate	39,207074

Prior	atv	ate	acv	acc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,166
Sp estimates	39,21	3,55	6,72	11,44
Sp t-ratios	0,31	1,04	0,76	0,58

Resultado 3: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 10 km
Modelo con parámetros genéricos

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,010779	0,001779
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,013889	0,001528
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,010904	0,003925
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,015966	0,005828
					0,051538	0,013059

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,010779
A error	0,025208
B estimate	13,779066
S estimate	25,361514

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	12,29	25,36	0,72	3,68	13,04
Sp t-ratios	0,56	0,39	2,32	1,02	0,54

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,013889
A error	0,029348
B estimate	25,542914
S estimate	27,391367

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	12,03	27,39	3,29	3,20	10,99
Sp t-ratios	0,56	0,37	1,08	1,10	0,59

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,010904
A error	0,02464
B estimate	18,118631
S estimate	25,021349

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	12,54	25,02	0,82	3,50	12,48
Sp t-ratios	0,55	0,39	2,16	1,05	0,55

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,015966
A error	0,039669
B estimate	7,523232
S estimate	13,89948

Prior	atv	ate	acv	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,06	-0,16	-0,166
Sp estimates	13,90	3,60	11,14	10,83
Sp t-ratios	0,53	1,03	0,59	0,60

Resultado 4: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 15 km

Modelo con parámetros genéricos

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,0101	0,001667
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,012629	0,001389
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,010205	0,003674
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,014984	0,005469
					0,047919	0,012199

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,0101
A error	0,024903
B estimate	12,486115
S estimate	24,930423

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior va	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	8,348724	24,930423	0,726805	3,981744	12,935662
Sp t-ratios	0,678338	0,392547	2,299044	0,982244	0,544956

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,012629
A error	0,029238
B estimate	21,481456
S estimate	24,412168

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior va	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	7,782458	24,412168	3,092531	3,366958	11,679783
Sp t-ratios	0,702583	0,396692	1,114549	1,068162	0,573507

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,010205
A error	0,024408
B estimate	17,209977
S estimate	24,548306

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	8,557744	24,548306	0,836229	3,764973	12,441967
Sp t-ratios	0,670003	0,39559	2,143352	1,010125	0,555663

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,014984
A error	0,041919
B estimate	5,618391
S estimate	11,816535

Prior	atv	ate	acv	acc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,166
Sp estimates	9,28781	3,896465	11,567799	11,816535
Sp t-ratios	0,643131	0,992935	0,576276	0,570179

Resultado 5: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 20 km

Modelo con parámetros genéricos

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,009618	0,001587
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,013044	0,001435
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,009724	0,003501
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,019309	0,007048
					0,051696	0,01357

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,009618
A error	0,02463
B estimate	5,325616
S estimate	16,049274

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	7,53	16,05	0,88	4,34	13,24
Sp t-ratios	0,71	0,49	2,09	0,94	0,54

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,013044
A error	0,030048
B estimate	12,426634
S estimate	26,563442

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	6,89	26,56	3,32	3,87	11,58
Sp t-ratios	0,75	0,38	1,07	1,00	0,58

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,009724
A error	0,024098
B estimate	7,554015
S estimate	16,894212

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	7,89	16,89	0,94	4,14	12,71
Sp t-ratios	0,70	0,48	2,03	0,96	0,55

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,019309
A error	0,077135
B estimate	0,249822
S estimate	32,371596

Prior	atv	ate	acv	acc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,166
Sp estimates	7,92	4,37	32,37	12,11
Sp t-ratios	0,70	0,94	0,34	0,56

Resultado 6: Diseño eficiente promedio para viaje al trabajo de 25 km.

Modelo con parámetros genéricos

Model averaging efficiency measures

Model name	Model type	Measure	Moment	Weight	Raw value	Weighted value
m1	MNL	d	Fixed	0,165	0,009357	0,001544
m2	MNL	d	Fixed	0,11	0,013536	0,001489
m3	MNL	d	Fixed	0,36	0,009461	0,003406
m4	MNL	d	Fixed	0,365	0,020304	0,007411
					0,052658	0,01385

MNL efficiency measures (m1)

D error	0,009357
A error	0,024063
B estimate	3,678236
S estimate	13,032228

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	6,87	11,99	0,93	5,19	13,03
Sp t-ratios	0,75	0,57	2,03	0,86	0,54

MNL efficiency measures (m2)

D error	0,013536
A error	0,031209
B estimate	7,102763
S estimate	30,341186

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	6,20	30,34	3,45	4,25	11,78
Sp t-ratios	0,79	0,36	1,05	0,95	0,57

MNL efficiency measures (m3)

D error	0,009461
A error	0,023344
B estimate	5,149761
S estimate	12,54708

Prior	atv	acv	ace	ate	acc
Fixed prior value	-0,0305	-0,05	-0,227	-0,06	-0,166
Sp estimates	6,93	12,55	1,05	4,88	12,29
Sp t-ratios	0,74	0,55	1,91	0,89	0,56

MNL efficiency measures (m4)

D error	0,020304
A error	0,08743
B estimate	0,058296
S estimate	37,841449

Prior	atv	ate	acv	acc
Fixed prior value	-0,03	-0,06	-0,16	-0,166
Sp estimates	7,32	4,69	37,84	12,75
Sp t-ratios	0,72	0,90	0,32	0,55

ANEXO 5

Sintaxis de programas para las estimaciones realizadas con Biogeme

Modelo Logit multinomial básico - Tabla 13

```

[Choice]
choice

[Beta]
// Name      Value  LowerBound UpperBound  status (0=variable, 1=fixed)
ASC_car      0      -10         10         0
ASC_moto     0      -10         10         0
ASC_taxi     0      -10         10         0
ASC_col      0      -10         10         0
ASC_dif      0      -10         10         1
ASC_nochoice 0      -20         20         0
Btv          0      -10         10         0
Bcv          0      -10         10         0
Bce          0      -10         10         0
Bcc          0      -10         10         0
Bte          0      -10         10         0

[Mu]
// In general, the value of mu must be fixed to 1. For testing purposes,
you
// may change its value or let it be estimated.
// Value LowerBound UpperBound Status
1      0      1      1

[Utilities]
// Id Name      Avail linear-in-parameter expression (beta1*x1 + beta2*x2
+ ... )
1      Auto      car_av1      ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva + Bce *
cea
2      Moto      moto_av1     ASC_moto * one + Btv * tvm + Bcv * cvm + Bce *
cem
3      Taxi      one          ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv * cvt + Bte *
tet
4      Col       one          ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol +
Bcv * cvcol + Bcc * cccol
5      Dif       one          ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif +
Bcv * cvdif + Bcc * cc dif
6      Nochoice  one          ASC_nochoice * one

[Expressions]
one = 1

[Model]
$MNL // Multinomial Logit Model

// Archivo de datos: data_f1.dat

```

Definición de variables utilizadas y que integran la base de datosVariables dependientes:

choice: variable dependiente utilizada en los modelos de elección modal presentados en las tablas 13 a 17 del estudio. La variable puede asumir seis valores: 1: automóvil, 2: motocicleta, 3: taxi, 4: autobús, 5: autobús diferencial, 6: otro modo (no elección).

Variables indicadoras del conjunto de elección:

one: todos los casos de la base de datos (entrevistados) poseen disponible la alternativa.

car_av1: vale 1 si el entrevistado posee automóvil disponible o cero si no lo posee.

moto_av1: vale 1 si el entrevistado posee motocicleta disponible o cero si no lo posee.

Variables independientes:

tva: tiempo de viaje en automóvil.

cva: costo de viaje en automóvil.

cea: costo de estacionamiento en automóvil

tvm: tiempo de viaje en motocicleta.

cvm: costo de viaje en motocicleta.

cem: costo de estacionamiento de motocicleta.

tvvt: tiempo de viaje en taxi.

cvt: costo de viaje en taxi.

tet: tiempo de espera de taxi.

tvcol: tiempo de viaje en autobús (colectivo).

tecol: tiempo de espera de autobús (colectivo).

cvcol: costo de viaje en autobús (colectivo).

ccccol: cuadras caminadas en origen y destino en el viaje en autobús (colectivo).

tvdif: tiempo de viaje en autobús diferencial.

tedif: tiempo de espera de autobús diferencial.

cvdif: costo de viaje en autobús diferencial.

ccdif: cuadras caminadas en origen y destino en el viaje en autobús diferencial.

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte

(incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje) - Tabla 14

```
[Choice]
choice

[Beta]
// Name Value LowerBound UpperBound status (0=variable, 1=fixed)
ASC_car 0 -100 100 0
ASC_moto 0 -100 100 0
ASC_taxi 0 -100 100 0
ASC_col 0 -100 100 0
ASC_dif 0 -100 100 1
ASC_nochoice 0 -100 100 0
Btv 0 -10 10 0
Bcv 0 -10 10 0
Bce 0 -10 10 0
Bcc 0 -10 10 0
Bte 0 -10 10 0
B2_5 0 -40 40 0
B5 0 -40 40 0
B10 0 -40 40 1
B15 0 -40 40 0
B20 0 -40 40 1

[Mu]
// In general, the value of mu must be fixed to 1. For testing purposes,
you
// may change its value or let it be estimated.
// Value LowerBound UpperBound Status
1 0 1 1

[Utilities]
// Id Name Avail linear-in-parameter expression (beta1*x1 + beta2*x2
+ ... )
1 Auto car_av1 ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva + Bce *
cea + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20
2 Moto moto_av1 ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv * cvn + Bce *
cem + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20
3 Taxi one ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv * cvt + Bte *
tet + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20
4 Col one ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol +
Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 *
KMS15 + B20 * KMS20
5 Dif one ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif +
Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 *
KMS15 + B20 * KMS20
6 Nochoice one ASC_nochoice * one

[Expressions]
one = 1

[Model]
$MNL // Multinomial Logit Model

// Archivo de datos: data_mnl.dat
```

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte
(incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje) - Tabla 14
(continuación)

Definición de variables utilizadas y que integran la base de datos

Variables dependientes:

choice: variable dependiente utilizada en los modelos de elección modal presentados en las tablas 13 a 17 del estudio. La variable puede asumir seis valores: 1: automóvil, 2: motocicleta, 3: taxi, 4: autobús, 5: autobús diferencial, 6: otro modo (no elección).

Variables indicadoras del conjunto de elección:

one: todos los casos de la base de datos (entrevistados) poseen disponible la alternativa.

car_av1: vale 1 si el entrevistado posee automóvil disponible o cero si no lo posee.

moto_av1: vale 1 si el entrevistado posee motocicleta disponible o cero si no lo posee.

Variables independientes:

tva: tiempo de viaje en automóvil.

cva: costo de viaje en automóvil.

cea: costo de estacionamiento en automóvil

tvm: tiempo de viaje en motocicleta.

cvm: costo de viaje en motocicleta.

cem: costo de estacionamiento de motocicleta.

tvf: tiempo de viaje en taxi.

cvt: costo de viaje en taxi.

tet: tiempo de espera de taxi.

tvcol: tiempo de viaje en autobús (colectivo).

tecol: tiempo de espera de autobús (colectivo).

cvcol: costo de viaje en autobús (colectivo).

ccccl: cuerdas caminadas en origen y destino en el viaje en autobús (colectivo).

tvdif: tiempo de viaje en autobús diferencial.

tedif: tiempo de espera de autobús diferencial.

cvdif: costo de viaje en autobús diferencial.

ccdif: cuerdas caminadas en origen y destino en el viaje en autobús diferencial.

**Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte
(incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje) - Tabla 14 (continuación)**

Definición de variables utilizadas (continuación)

KMS2_5: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 2,5 kms.

KMS5: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 5 kms.

KMS10: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 10 kms.

KMS15: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 15 kms.

KMS20: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 20 kms.

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte

(incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje y variables socioeconómicas)

Tabla 15

[Choice]
choice

```
[Beta]
// Name Value LowerBound UpperBound status (0=variable, 1=fixed)
ASC_car 0 -100 100 0
ASC_moto 0 -100 100 0
ASC_taxi 0 -100 100 0
ASC_col 0 -100 100 0
ASC_dif 0 -100 100 1
ASC_nochoice 0 -100 100 0
Btv 0 -100 100 0
Bcv 0 -100 100 0
Bce 0 -100 100 0
Bcc 0 -100 100 0
Bte 0 -100 20 0
B2_5 0 -40 40 0
B5 0 -40 40 0
B10 0 -40 40 1
B15 0 -40 40 1
B20 0 -40 40 1
Bactiv1 0 -40 40 1
Bactiv2 0 -40 40 1
Bactiv3 0 -40 40 0
Bactiv4 0 -40 40 0
Bactiv5 0 -40 40 0
Bactiv7 0 -40 40 0
Bactiv9 0 -40 40 1
Bage 0 -40 40 0
Bfemale 0 -40 40 1
```

```
[Mu]
// In general, the value of mu must be fixed to 1. For testing
purposes, you
// may change its value or let it be estimated.
// Value LowerBound UpperBound Status
1 0 1 1
```

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte**(incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje y variables socioeconómicas)****Tabla 15****(continuación)**

```
[Utilities]
// Id Name      Avail linear-in-parameter expression (beta1*x1 +
beta2*x2 + ... )
1   Auto      car_av1      ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva +
Bce * cea + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 +
B20 * KMS20 + Bactiv1 * activ1 + Bactiv2 * activ2 + Bactiv3 * activ3
+ Bactiv4 * activ4 + Bactiv5 * activ5 + Bactiv7 * activ7 + Bactiv9 *
activ9 + Bage * age + Bfemale * female
2   Moto      moto_av1     ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv * cvm +
Bce * cem + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 +
B20 * KMS20
3   Taxi      one              ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv * cvt +
Bte * tet + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 +
B20 * KMS20
4   Col      one              ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol
+ Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20
5   Dif      one              ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif
+ Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20
6   Nochoice one          ASC_nochoice * one

[Expressions]
one = 1

[Model]
$MNL // Multinomial Logit Model

// Archivo de datos: data_fls_ORDERED_rev.dat
```

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte
(incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje y variables socioeconómicas)

Tabla 15

(continuación)

Definición de variables utilizadas y que integran la base de datos

Variables dependientes:

choice: variable dependiente utilizada en los modelos de elección modal presentados en las tablas 13 a 17 del estudio. La variable puede asumir seis valores: 1: automóvil, 2: motocicleta, 3: taxi, 4: autobús, 5: autobús diferencial, 6: otro modo (no elección).

Variables indicadoras del conjunto de elección:

one: todos los casos de la base de datos (entrevistados) poseen disponible la alternativa.

car_av1: vale 1 si el entrevistado posee automóvil disponible o cero si no lo posee.

moto_av1: vale 1 si el entrevistado posee motocicleta disponible o cero si no lo posee.

Variables independientes:

tva: tiempo de viaje en automóvil.

cva: costo de viaje en automóvil.

cea: costo de estacionamiento en automóvil

tvm: tiempo de viaje en motocicleta.

cvm: costo de viaje en motocicleta.

cem: costo de estacionamiento de motocicleta.

tvf: tiempo de viaje en taxi.

cvt: costo de viaje en taxi.

tet: tiempo de espera de taxi.

tvcol: tiempo de viaje en autobús (colectivo).

tecol: tiempo de espera de autobús (colectivo).

cvcol: costo de viaje en autobús (colectivo).

ccccl: cuadras caminadas en origen y destino en el viaje en autobús (colectivo).

tvdif: tiempo de viaje en autobús diferencial.

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte
(incluye variables explicativas dummy para distancia de viaje y variables socioeconómicas)

Tabla 15

(continuación)

Definición de variables utilizadas (continuación)

tedif: tiempo de espera de autobús diferencial.

cvdif: costo de viaje en autobús diferencial.

ccdif: cuadras caminadas en origen y destino en el viaje en autobús diferencial.

KMS2_5: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 2,5 kms.

KMS5: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 5 kms.

KMS10: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 10 kms.

KMS15: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 15 kms.

KMS20: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 20 kms.

activ1: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 1.

activ2: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 2.

activ3: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 3.

activ4: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 4.

activ5: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 5.

activ7: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 7.

activ9: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 9.

age: edad del entrevistado.

female: variable dummy que asume el valor uno si el entrevistado es mujer y cero si es varón.

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte. Modelo mixto de datos de panel para respuestas repetidas - Tabla 16

```

[Choice]
choice

[Beta]
// Name Value LowerBound UpperBound status (0=variable, 1=fixed)
ASC_car      0      -100      100      0
ASC_moto     0      -100      100      0
ASC_taxi     0      -100      100      0
ASC_col      0      -100      100      0
ASC_dif      0      -100      100      1
ASC_nochoice 0      -100      100      0
Btv          0      -100      100      0
Bcv          0      -100      100      0
Bce          0      -100      100      0
Bcc          0      -100      100      0
Bte          0      -100      20       0
B2_5        0      -40       40       0
B5           0      -40       40       0
B10         0      -40       40       1
B15         0      -40       40       1
B20         0      -40       40       1
Bactiv1     0      -40       40       1
Bactiv2     0      -40       40       1
Bactiv3     0      -40       40       0
Bactiv4     0      -40       40       0
Bactiv5     0      -40       40       0
Bactiv7     0      -40       40       1
Bactiv9     0      -40       40       1
Bage        0      -40       40       1
Bfemale     0      -40       40       1
SIGMA_PANEL 0      -100      100      0
ZERO        0      -100      100      1

[Mu]
// In general, the value of mu must be fixed to 1. For testing
purposes, you
// may change its value or let it be estimated.
// Value LowerBound UpperBound Status
1      0      1      1

```

Modelo logit multinomial de elección de modo de transporte. Modelo mixto de datos de panel para respuestas repetidas - Tabla 16	(continuación)
--	-----------------------

```

[Utilities]
// Id Name      Avail linear-in-parameter expression (beta1*x1 +
beta2*x2 + ... )
1      Auto      car_av1      ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva +
Bce * cea + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 +
B20 * KMS20 + Bactiv1 * activ1 + Bactiv2 * activ2 + Bactiv3 * activ3
+ Bactiv4 * activ4 + Bactiv5 * activ5 + Bactiv7 * activ7 + Bactiv9 *
activ9 + Bing2000a * Ing2000 + Bage * age + Bfemale * female + ZERO
[ SIGMA_PANEL ] * one
2      Moto      moto_av1      ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv * cvm +
Bce * cem + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 +
B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
3      Taxi      one      ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv * cvt +
Bte * tet + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 +
B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
4      Col      one      ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol
+ Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
5      Dif      one      ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif
+ Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
6      Nochoice  one      ASC_nochoice * one

[Expressions]
one = 1

[Draws]
1000

[Model]
$MNL // Multinomial Logit Model

[PanelData]
ID
ZERO_SIGMA_PANEL

// Archivo de datos: data_fls_ORDERED_rev.dat

```

Nota: Las variables utilizadas son las mismas que las utilizadas en la estimación del modelo de la Tabla 15.

Modelo logit anidado de elección de modo de transporte**(Incluye variables explicativas ficticias para distancia de viaje y variables socioeconómicas.****Modelo mixto de datos de panel) - Tabla 17**

```
[Choice]
choice
```

```
[Beta]
// Name Value LowerBound UpperBound status (0=variable, 1=fixed)
ASC_car 0 -100 100 0
ASC_moto 0 -100 100 0
ASC_taxi 0 -100 100 0
ASC_col 0 -100 100 1
ASC_dif 0 -100 100 1
ASC_nochoice 0 -100 100 0
Btv 0 -100 100 0
Bcv 0 -100 100 0
Bce 0 -100 100 0
Bcc 0 -100 100 0
Bte 0 -100 20 0
B2_5 0 -40 40 0
B5 0 -40 40 0
B10 0 -40 40 1
B15 0 -40 40 1
B20 0 -40 40 1
Bactiv1 0 -40 40 1
Bactiv2 0 -40 40 1
Bactiv3 0 -40 40 0
Bactiv4 0 -40 40 0
Bactiv5 0 -40 40 0
Bactiv7 0 -40 40 1
Bactiv9 0 -40 40 1
Bage 0 -40 40 1
Bfemale 0 -40 40 1
SIGMA_PANEL 0 -100 100 0
ZERO 0 -100 100 1
```

```
[Mu]
// In general, the value of mu must be fixed to 1. For testing
purposes, you
// may change its value or let it be estimated.
// Value LowerBound UpperBound Status
1 0 1 1
```

Modelo logit anidado de elección de modo de transporte**(Incluye variables explicativas ficticias para distancia de viaje y variables socioeconómicas.****Modelo mixto de datos de panel) - Tabla 17****(continuación)**

```
[Utilities]
// Id Name          Avail linear-in-parameter expression (beta1*x1 +
beta2*x2 + ... )
1   Auto           car_av1    ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva +
Bce * cea + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 +
B20 * KMS20 + Bactiv1 * activ1 + Bactiv2 * activ2 + Bactiv3 * activ3
+ Bactiv4 * activ4 + Bactiv5 * activ5 + Bactiv7 * activ7 + Bactiv9 *
activ9 + Bage * age + Bfemale * female + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
2   Moto           moto_av1   ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv * cvm +
Bce * cem + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 +
B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
3   Taxi           one        ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv * cvt +
Bte * tet + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 +
B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
4   Col            one        ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol
+ Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
5   Dif            one        ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif
+ Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
6   Nochoice       one        ASC_nochoice * one

[Expressions]
one = 1

[Draws]
1000

[Model]
$NL // Nested Logit Model

[NLNests]
//Name      paramvalue LowerBound UpperBound status      list of alt
NEST_priv  1           1           40           1           1 2
NEST_taxi  1           1           40           1           3
NEST_pub   1           1           40           0           4 5
NEST_Ot    1           1           40           1           6

[PanelData]
ID
ZERO_SIGMA_PANEL
```

```
// Archivo de datos: data_fls_ORDERED_rev.dat
```

Nota: Las variables utilizadas son las mismas que las utilizadas en la estimación del modelo de la Tabla 15.

Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo - Tabla 21

```

[Choice]
ch4a

[Beta]
// Name Value LowerBound UpperBound status (0=variable, 1=fixed)
ASC_car 0 -20 20 1
ASC_moto 0 -20 20 1
ASC_taxi 0 -20 20 1
ASC_col 0 -20 20 0
ASC_dif 0 -20 20 1
ASC_nochoice 0 -20 20 0
Btv 0 -20 20 0
Bcv 0 -20 20 0
Bce_a 0 -20 20 0
Bce_m 0 -20 20 0
Bcc 0 -20 20 0
Bte 0 -20 20 0
Bqpv 0 -20 20 1
B2_5 0 -20 20 0
B5 0 -20 20 0
B10 0 -20 20 1
B15 0 -20 20 1
B20 0 -20 20 1
SIGMA_PANEL 0 -100 100 0
ZERO 0 -100 100 1

[Mu]
// In general, the value of mu must be fixed to 1. For testing
purposes, you
// may change its value or let it be estimated.
// Value LowerBound UpperBound Status
1 0 1 1

[Utilities]
// Id Name Avail linear-in-parameter expression (beta1*x1 +
beta2*x2 + ... )
1 Auto mod1_av ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva +
Bce_a * cea + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
2 Moto mod1_av ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv * cvm +
Bce_m * cem + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one

```

Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo - Tabla 21

(continuación)

4 Col mod1_av ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol + Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

5 Dif mod1_av ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif + Bcv * cvdif + Bcc * cc dif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

7 Auto2 mod2_av ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva + Bce_a * cea + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

8 Moto2 mod2_av ASC_moto * one + Btv * tv m + Bcv * cv m + Bce_m * cem + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

9 Taxi2 mod2_av ASC_taxi * one + Btv * tv t + Bcv * cv t + Bte * tet + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

10 Col2 mod2_av ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol + Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

11 Dif2 mod2_av ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif + Bcv * cvdif + Bcc * cc dif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

12 Nochoice2 mod2_av ASC_nochoice * one

13 Auto3 mod3_av ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva + Bce_a * cea + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

14 Moto3 mod3_av ASC_moto * one + Btv * tv m + Bcv * cv m + Bce_m * cem + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

15 Taxi3 mod3_av ASC_taxi * one + Btv * tv t + Bcv * cv t + Bte * tet + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

16 Col3 mod3_av ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol + Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

17 Dif3 mod3_av ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif + Bcv * cvdif + Bcc * cc dif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

18 Nochoice3 mod3_av ASC_nochoice * one

19 Auto4 mod4_av ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva + Bce_a * cea + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

20 Moto4 mod4_av ASC_moto * one + Btv * tv m + Bcv * cv m + Bce_m * cem + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [SIGMA_PANEL] * one

Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo - Tabla 21

(continuación)

```

21  Taxi4      mod4_av    ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv * cvt +
Bte * tet + Bqpv * qpvt + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
22  Col4      mod4_av    ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol
+ Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
23  Dif4      mod4_av    ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte *
tedif + Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10
* KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
24  Nochoice4 mod4_av    ASC_nochoice * one

```

[Expressions]

one = 1

[Model]

\$NL // Nested Logit Model

[Draws]

1000

[PanelData]

ID

ZERO_SIGMA_PANEL

[NLNests]

//Name	paramvalue	LowerBound	UpperBound	status	list of alt
NEST_M1	1	1	40	0	1 2 4 5
NEST_M2	1	1	40	0	7 8 9 10 11 12
NEST_M3	1	1	40	1	13 14 15 16 17
18					
NEST_M4	1	1	40	1	19 20 21 22 23
24					

// Archivo de datos: data_fls_ORDERED_rev.dat

Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo - Tabla 21

(continuación)

Definición de variables utilizadas y que integran la base de datos

Variables dependientes:

Ch4a: variable dependiente utilizada en los modelos de elección modal presentados en las tablas 21 a 23 del estudio. La variable puede asumir veinticuatro valores codificados del 1 al 24, según las combinaciones de tenencia y elección de modo de transporte.

Variables indicadoras del conjunto de elección:

one: todos los casos de la base de datos (entrevistados) poseen disponible la alternativa.

mod1_av: vale 1 si el entrevistado pertenece a la categoría 1 de tenencia de vehículo particular.

mod2_av: vale 1 si el entrevistado pertenece a la categoría 2 de tenencia de vehículo particular.

mod3_av: vale 1 si el entrevistado pertenece a la categoría 3 de tenencia de vehículo particular.

mod4_av: vale 1 si el entrevistado pertenece a la categoría 4 de tenencia de vehículo particular.

Variables independientes:

tva: tiempo de viaje en automóvil.

cva: costo de viaje en automóvil.

cea: costo de estacionamiento en automóvil

tvm: tiempo de viaje en motocicleta.

cvm: costo de viaje en motocicleta.

cem: costo de estacionamiento de motocicleta.

tvvt: tiempo de viaje en taxi.

cvt: costo de viaje en taxi.

tet: tiempo de espera de taxi.

tvcol: tiempo de viaje en autobús (colectivo).

tecol: tiempo de espera de autobús (colectivo).

cvcoll: costo de viaje en autobús (colectivo).

Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo - Tabla 21

(continuación)

Definición de variables utilizadas (continuación)

cccol: cuadradas caminadas en origen y destino en el viaje en autobús (colectivo).

tvdif: tiempo de viaje en autobús diferencial.

tedif: tiempo de espera de autobús diferencial.

cvdif: costo de viaje en autobús diferencial.

ccdif: cuadradas caminadas en origen y destino en el viaje en autobús diferencial.

KMS2_5: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 2,5 kms.

KMS5: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 5 kms.

KMS10: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 10 kms.

KMS15: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 15 kms.

KMS20: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 20 kms.

Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo (con coeficientes genéricos diferenciando preferencias de uso y compra de vehículo particular. Incluye variable socioeconómica de actividad laboral) - Tabla 22

[Choice]
ch4a

```
[Beta]
// Name Value LowerBound UpperBound status (0=variable, 1=fixed)
ASC_car 0 -20 20 1
ASC_moto 0 -20 20 1
ASC_taxi 0 -20 20 1
ASC_col 0 -20 20 0
ASC_dif 0 -20 20 1
ASC_nochoice 0 -20 20 0
ASC_car7 0 -20 20 1
ASC_car19 0 -20 20 1
ASC_moto14 0 -20 20 0
ASC_moto20 0 -20 20 0
Btv 0 -20 20 0
Bcv 0 -20 20 0
Btv7a 0 -20 20 0
Btv7m 0 -20 20 0
Bce_a 0 -20 20 0
Bce_m 0 -20 20 0
Bce_a7 0 -20 20 0
Bce_m7 0 -20 20 0
Bcc 0 -20 20 0
Bte 0 -20 20 0
Bqpv 0 -20 20 1
B2_5 0 -20 20 0
B5 0 -20 20 0
B10 0 -20 20 1
B15 0 -20 20 1
B20 0 -20 20 1
Bactiv3 0 -20 20 0
Bactiv4 0 -20 20 0
Bactiv5 0 -20 20 0
SIGMA_PANEL 0 -100 100 0
ZERO 0 -100 100 1
```

```
[Mu]
// In general, the value of mu must be fixed to 1. For testing
purposes, you
// may change its value or let it be estimated.
// Value LowerBound UpperBound Status
1 0 1 1
```

Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo (con coeficientes genéricos diferenciando preferencias de uso y compra de vehículo particular. Incluye variable socioeconómica de actividad laboral) - Tabla 22

(continuación)

```
[Utilities]
// Id Name      Avail linear-in-parameter expression (beta1*x1 +
beta2*x2 + ... )
1   Auto      mod1_av      ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva +
Bce_a * cea + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bactiv3 * activ3 + Bactiv4 * activ4 +
Bactiv5 * activ5 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
2   Moto      mod1_av      ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv * cvm +
Bce_m * cem + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
4   Col      mod1_av      ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol
+ Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
5   Dif      mod1_av      ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif
+ Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one

7   Auto2     mod2_av      ASC_car7 * one + Btv7a * tva + Bcv *
cva + Bce_a7 * cea + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bactiv3 * activ3 + Bactiv4 *
activ4 + Bactiv5 * activ5 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
8   Moto2     mod2_av      ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv * cvm +
Bce_m * cem + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
9   Taxi2     mod2_av      ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv * cvt +
Bte * tet + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
10  Col2      mod2_av      ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol
+ Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
11  Dif2      mod2_av      ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif
+ Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
12  Nochoice2 mod2_av      ASC_nochoice * one

13  Auto3     mod3_av      ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva +
Bce_a * cea + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bactiv3 * activ3 + Bactiv4 * activ4 +
Bactiv5 * activ5 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
```

Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo (con coeficientes genéricos diferenciando preferencias de uso y compra de vehículo particular. Incluye variable socioeconómica de actividad laboral) - Tabla 22

(continuación)

```

14  Moto3      mod3_av    ASC_moto14 * one + Btv7m * tvn + Bcv *
cvm + Bce_m7 * cem + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
15  Taxi3      mod3_av    ASC_taxi * one + Btv * tvn + Bcv * cvt +
Bte * tet + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
16  Col3      mod3_av    ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol
+ Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
17  Dif3      mod3_av    ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif
+ Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
18  Nochoice3 mod3_av    ASC_nochoice * one

19  Auto4      mod4_av    ASC_car19 * one + Btv7a * tva + Bcv * cva
+ Bce_a7 * cea + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bactiv3 * activ3 + Bactiv4 *
activ4 + Bactiv5 * activ5 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
20  Moto4      mod4_av    ASC_moto20 * one + Btv7m * tvn + Bcv *
cvm + Bce_m7 * cem + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
21  Taxi4      mod4_av    ASC_taxi * one + Btv * tvn + Bcv * cvt +
Bte * tet + Bqpv * qpv + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
22  Col4      mod4_av    ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol
+ Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
23  Dif4      mod4_av    ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte *
tedif + Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10
* KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + ZERO [ SIGMA_PANEL ] * one
24  Nochoice4 mod4_av    ASC_nochoice * one

```

[Expressions]

one = 1

[Model]

\$NL // Nested Logit Model

[Draws]

1000

[PanelData]

ID

ZERO_SIGMA_PANEL

Logit anidado multidimensional para la estimación simultánea de preferencia por tenencia de vehículo y elección de modo de transporte para viajar al trabajo (con coeficientes genéricos diferenciando preferencias de uso y compra de vehículo particular. Incluye variable socioeconómica de actividad laboral) - Tabla 22

(continuación)

```
[NLNests]
//Name      paramvalue LowerBound UpperBound status      list of alt
NEST_M1     1           1           40           0           1 2 4 5
NEST_M2     1           1           40           0           7 8 9 10 11 12
NEST_M3     1           1           40           1           13 14 15 16 17
18
NEST_M4     1           1           40           1           19 20 21 22 23
24
```

// Archivo de datos: data_fls_ORDERED_rev.dat

Nota: Las variables utilizadas son las mismas que las utilizadas en la estimación del modelo de la Tabla 21, al que hay que agregar las variables independientes de nivel de actividad, a saber:

activ3: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 3.

activ4: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 4.

activ5: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 5.

Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo) - Tabla 23

[Choice]
ch4a

[Beta]
// Name Value LowerBound UpperBound status (0=variable, 1=fixed)

Name	Value	LowerBound	UpperBound	status
ASC_car	0	-20	20	0
ASC_moto	0	-20	20	1
ASC_taxi	0	-20	20	1
ASC_col	0	-20	20	0
ASC_dif	0	-20	20	1
ASC_nochoice	0	-100	100	0
ASC_N1	0	-100	100	1
ASC_N2	0	-100	100	0
Btv	0	-20	20	0
Bcv	0	-20	20	0
Bce_a	0	-20	20	0
Bce_m	0	-20	20	0
Bcc	0	-20	20	0
Bte	0	-20	20	0
B2_5	0	-20	20	0
B5	0	-20	20	0
B10	0	-20	20	1
B15	0	-20	20	1
B20	0	-20	20	1
Bactiv1	0	-20	20	1
Bactiv2	0	-20	20	1
Bactiv3	0	-40	40	0
Bactiv4	0	-40	40	0
Bactiv5	0	-40	40	0
Bactiv7	0	-40	40	1
Bactiv9	0	-40	40	1
Bqtrab1	0	-20	20	0
Bqtrab2	0	-20	20	1
Bqtrab4	0	-20	20	1
Bing5a10_1	0	-100	100	0
Bing5a10_2	0	-100	100	1
Bing5a10_3	0	-100	100	0
Bing5a10_4	0	-100	100	1
Bing2000_4	0	-100	100	0
Bqautos1	0	-100	100	1

Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo) - Tabla 23	(continuación)
---	-----------------------

```

[Mu]
// In general, the value of mu must be fixed to 1. For testing
purposes, you
// may change its value or let it be estimated.
// Value LowerBound UpperBound Status
1    0    1    1

[Utilities]
// Id Name      Avail linear-in-parameter expression (beta1*x1 +
beta2*x2 + ... )
1    Auto       one  ASC_N1 * one + ASC_car * one + Btv * tva + Bcv
* cva + Bce_a * cea + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15
* KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab1 * qtrab + Bing5a10_1 * Ing5a10 +
Bactiv1 * activ1 + Bactiv2 * activ2 + Bactiv3 * activ3 + Bactiv4 *
activ4 + Bactiv5 * activ5 + Bactiv7 * activ7 + Bactiv9 * activ9 +
Bqautos1 * qautos1
2    Moto       one  ASC_N1 * one + ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv
* cvm + Bce_m * cem + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15
* KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab1 * qtrab + Bing5a10_1 * Ing5a10
4    Col        one  ASC_N1 * one + ASC_col * one + Btv * tvcol +
Bte * tecol + Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5
+ B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab1 * qtrab +
Bing5a10_1 * Ing5a10
5    Dif        one  ASC_N1 * one + ASC_dif * one + Btv * tvdif +
Bte * tedif + Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5
+ B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab1 * qtrab +
Bing5a10_1 * Ing5a10
7    Auto2      one  ASC_N2 * one + ASC_car * one + Btv * tva + Bcv
* cva + Bce_a * cea + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15
* KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab2 * qtrab + Bing5a10_2 * Ing5a10 +
Bactiv1 * activ1 + Bactiv2 * activ2 + Bactiv3 * activ3 + Bactiv4 *
activ4 + Bactiv5 * activ5 + Bactiv7 * activ7 + Bactiv9 * activ9
8    Moto2      one  ASC_N2 * one + ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv
* cvm + Bce_m * cem + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15
* KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab2 * qtrab + Bing5a10_2 * Ing5a10
9    Taxi2      one  ASC_N2 * one + ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv
* cvt + Bte * tet + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 *
KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab2 * qtrab + Bing5a10_2 * Ing5a10
10   Col2       one  ASC_N2 * one + ASC_col * one + Btv * tvcol +
Bte * tecol + Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5
+ B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab2 * qtrab +
Bing5a10_2 * Ing5a10

```

Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo) - Tabla 23	(continuación)
---	-----------------------

10 Col2 one ASC_N2 * one + ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol + Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab2 * qtrab + Bing5a10_2 * Ing5a10

11 Dif2 one ASC_N2 * one + ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif + Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab2 * qtrab + Bing5a10_2 * Ing5a10

12 Nochoice2 one ASC_N2 * one + ASC_nochoice * one + Bqtrab2 * qtrab + Bing5a10_2 * Ing5a10

13 Auto3 one ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva + Bce_a * cea + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab1 * qtrab + Bing5a10_3 * Ing5a10 + Bactiv1 * activ1 + Bactiv2 * activ2 + Bactiv3 * activ3 + Bactiv4 * activ4 + Bactiv5 * activ5 + Bactiv7 * activ7 + Bactiv9 * activ9 + Bqautos1 * qautos1

14 Moto3 one ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv * cvn + Bce_m * cem + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab1 * qtrab + Bing5a10_3 * Ing5a10

15 Taxi3 one ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv * cvt + Bte * tet + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab1 * qtrab + Bing5a10_3 * Ing5a10

16 Col3 one ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol + Bcv * cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab1 * qtrab + Bing5a10_3 * Ing5a10

17 Dif3 one ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif + Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab1 * qtrab + Bing5a10_3 * Ing5a10

18 Nochoice3 one ASC_nochoice * one + Bqtrab1 * qtrab + Bing5a10_3 * Ing5a10

19 Auto4 one ASC_car * one + Btv * tva + Bcv * cva + Bce_a * cea + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab4 * qtrab + Bing2000_4 * Ing2000 + Bing5a10_4 * Ing5a10 + Bactiv1 * activ1 + Bactiv2 * activ2 + Bactiv3 * activ3 + Bactiv4 * activ4 + Bactiv5 * activ5 + Bactiv7 * activ7 + Bactiv9 * activ9

20 Moto4 one ASC_moto * one + Btv * tvn + Bcv * cvn + Bce_m * cem + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab4 * qtrab + Bing2000_4 * Ing2000 + Bing5a10_4 * Ing5a10

Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo) - Tabla 23

(continuación)

```

21  Taxi4      one  ASC_taxi * one + Btv * tvt + Bcv * cvt + Bte *
tet + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 + B15 * KMS15 + B20 *
KMS20 + Bqtrab4 * qtrab + Bing2000_4 * Ing2000 + Bing5a10_4 *
Ing5a10
22  Col4      one  ASC_col * one + Btv * tvcol + Bte * tecol + Bcv
* cvcol + Bcc * cccol + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 * KMS10 +
B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab4 * qtrab + Bing2000_4 * Ing2000 +
Bing5a10_4 * Ing5a10
23  Dif4      one  ASC_dif * one + Btv * tvdif + Bte * tedif
+ Bcv * cvdif + Bcc * ccdif + B2_5 * KMS2_5 + B5 * KMS5 + B10 *
KMS10 + B15 * KMS15 + B20 * KMS20 + Bqtrab4 * qtrab + Bing2000_4 *
Ing2000 + Bing5a10_4 * Ing5a10
24  Nochoice4 one  ASC_nochoice * one + Bqtrab4 * qtrab +
Bing2000_4 * Ing2000 + Bing5a10_4 * Ing5a10

```

[Expressions]

```

one = 1
Ing2y3250 = Ing2000 + Ing3250
Ing5a10 = Ing5000 + Ing8y10000

```

[Exclude]

```

Ingorig = 99999

```

[Model]

```

$NL // Multidimensional Nested Logit Model

```

[NLNests]

```

//Name      paramvalue LowerBound UpperBound status      list of alt
NEST_M1     1           1           40           0           1 2 4 5
NEST_M2     1           1           40           1           7 8 9 10 11 12
NEST_M3     1           1           40           1           13 14 15 16 17
18
NEST_M4     1           1           40           1           19 20 21 22 23
24

```

```

// Archivo de datos: data_f1s_ORDERED_rev2.dat

```

Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo) - Tabla 23 (continuación)

Definición de variables utilizadas y que integran la base de datos

Variables dependientes:

Ch4a: variable dependiente utilizada en los modelos de elección modal presentados en las tablas 21 a 23 del estudio. La variable puede asumir veinticuatro valores codificados del 1 al 24, según las combinaciones de tenencia y elección de modo de transporte.

Variables indicadoras del conjunto de elección:

one: todos los casos de la base de datos (entrevistados) poseen disponible la alternativa.

Variables independientes:

tva: tiempo de viaje en automóvil.

cva: costo de viaje en automóvil.

cea: costo de estacionamiento en automóvil

tvm: tiempo de viaje en motocicleta.

cvm: costo de viaje en motocicleta.

cem: costo de estacionamiento de motocicleta.

tvf: tiempo de viaje en taxi.

cvt: costo de viaje en taxi.

tet: tiempo de espera de taxi.

tvcol: tiempo de viaje en autobús (colectivo).

tecol: tiempo de espera de autobús (colectivo).

cvccl: costo de viaje en autobús (colectivo).

ccccl: cuadras caminadas en origen y destino en el viaje en autobús (colectivo).

tvdif: tiempo de viaje en autobús diferencial.

tedif: tiempo de espera de autobús diferencial.

cvdif: costo de viaje en autobús diferencial.

ccdif: cuadras caminadas en origen y destino en el viaje en autobús diferencial.

Modelo logit anidado multidimensional de elección de modo de transporte y tenencia de vehículo particular (con variables socioeconómicas explicativas de los nidos de tenencia de vehículo) - Tabla 23 **(continuación)**

Definición de variables utilizadas (continuación)

ccdif: cuerdas caminadas en origen y destino en el viaje en autobús diferencial.

KMS2_5: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 2,5 kms.

KMS5: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 5 kms.

KMS10: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 10 kms.

KMS15: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 15 kms.

KMS20: variable dummy que indica si el escenario de elección corresponde a un viaje de 20 kms.

activ1: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 1.

activ2: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 2.

activ3: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 3.

activ4: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 4.

activ5: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 5.

activ7: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 7.

activ9: variable dummy que indica si el entrevistado pertenece a la categoría de actividad 9.

qtrab: cantidad de trabajadores en el hogar.

Ing5a10: variable ficticia que asume el valor 1 si el ingreso familiar mensual es mayor o igual a \$4.000; y asume el valor 0 en otro caso.

Ing2000: variable ficticia que asume el valor 1 si el ingreso familiar mensual es menor a \$2.500; y asume el valor 0 en otro caso.

qautos1: cantidad de automóviles disponibles en el hogar.

Referencias bibliográficas

- Arrufat, J. L. (1986). "Modelos de demanda de transporte": Instituto de Economía y Finanzas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba.
- Bates, J. (1988). Econometric Issues in stated preference analysis. *Journal of Transport Economics and Policy*, 22 (1), 59-69.
- Ben-Akiva, M. y Lerman, S. (1974). Some estimation results of a simultaneous model of auto ownership and mode choice to work. *Transportation*, 3 (4), 357-376.
- Ben-Akiva, M. y Francois, B. (1983). μ Homogeneous Generalized Extreme Value Model. Working paper, Department of Civil Engineering: MIT, Cambridge, MA.
- Ben-Akiva, M., y Lerman, S. (1985). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand* (Vol. 9). MIT press.
- Ben-Akiva, M., y Morikawa, T. (1990). Estimation of switching models from revealed preferences and stated intentions. *Transportation Research Part A: General*, 24(6), 485-495.
- Ben-Akiva, M., Bradley, M., Morikawa, T., Benjamin, J., Novak, T., Oppewal, H. y Rao, V. (1994). Combining revealed and stated preferences data. *Marketing Letters*, 5(4), 335-350.
- Ben-Akiva, M. y Boccara, B. (1995). Discrete choice models with latent choice sets. *International Journal of Research in Marketing*, 12(1), 9-24.
- Ben-Akiva, M. y Bierlaire, M. (1999). Discrete choice methods and their applications to short term travel decisions, Draft presentado en *Handbook of Transportation Science (2003)*: Kluwer Academic Publishers.
- Ben-Akiva, M. y Bierlaire, M. (2003). Discrete choice models with applications to departure time and route choice. *Handbook of Transportation Science*, 7-37.
- Bhat, C. R. y Pulugurta, V. (1998). A comparison of two alternative behavioural choice mechanisms for household auto ownership decisions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 32(1), 61-75.
- Bhat, C. R. (2000). Incorporating observed and unobserved heterogeneity in urban work travel mode choice modeling. *Transportation Science*, 34(2), 228-238.
- Bhat, C.R. y Castelar, S. (2002). A Unified Mixed Logit Framework for Modeling Revealed and Stated Preferences: Formulation and Application to Congestion Pricing Analysis in the San Francisco Bay Area. *Transportation Research Part B*, 36 (7), 593-616.
- Bhat, C. R., Sen, S. y Eluru, N. (2009). The impact of demographics, built environment attributes, vehicle characteristics, and gasoline prices on household vehicle holdings and use. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(1), 1-18.

- Bierlaire, M. (2003). BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models. En *Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference*.
- Bierlaire, M., Bolduc, D., y McFadden, D. (2008). The estimation of generalized extreme value models from choice-based samples. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(4), 381-394.
- Bierlaire, M. (2009). Estimation of discrete choice models with BIOGEME 1.8 [document en línea]. Transport and Mobility Laboratory, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Bliemer, M. y Rose, J. (2005a). Efficient designs for alternative specific choice experiments. *Institute of Transport Studies Working Paper*, (ITS-WP-05-04). The University of Sydney.
- Bliemer, M. y Rose, J. (2005b). Efficiency and sample size requirements for Stated Choice Studies. *Institute of Transport Studies Working Paper*, (ITLS-WP-05-08). The University of Sydney.
- Bliemer, M., Rose, J. y Hess, S. (2006). Approximation of Bayesian Efficiency in Experimental Choice Designs. *Institute of Transport Studies Working Paper*, (ITLS-WP-06-14). The University of Sydney.
- Bliemer, M. y Rose, J. (2008). Construction of experimental designs for mixed logit models allowing for correlation across choice observations. *Institute of Transport Studies Working Paper*, (ITLS-WP-08-13). The University of Sydney.
- Bliemer, M., Rose, J. y Hensher, D. (2009). Efficient stated choice experiments for estimating Nested Logit models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(1), 19-35.
- Bradley, M. y Gunn, H. (1990). Stated preference analysis of values of travel time in the Netherlands, *Transportation Research Record*, 1285, 78-89.
- Bradley, M. y Daly, A. (1991). Estimation of logit choice models using mixed stated-preference and revealed-preference information. Presentado a la *6th International Conference on Travel Behavior*, May, Quebec.
- Bradley, M. y A. Daly (1994). Use of the logit scaling approach to test for rank-order and fatigue effects in stated preference data. *Transportation*, 21(2), 167-184.
- Brownstone, D. y Small, K. (1989). Efficient estimation of nested logit models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 7(1), 67-74.
- Brownstone, D. y Train, K. (1999). Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns. *Journal of Econometrics*, 89(1), 109-129.
- Brownstone, D., Bunch, D. y Train, K. (2000). Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative fuel vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(5), 315-338.

- Bunch, D., Louviere, J. y Anderson, D. (1996). A comparison of Experimental Design Strategies for Multinomial Logit Models: The Case of Generic Attributes. *University of California Davis Graduate School of Management Working Paper*, 11-96.
- Cantillo, V. y Ortúzar, J. (2005). A semi-compensatory discrete choice model with explicit attribute thresholds of perception. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(7), 641-657.
- Cosslett, S. (1981). Maximum likelihood estimator for choice-based samples. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1289-1316.
- Chiou, L. y Walker, J. L. (2007). Masking identification of discrete choice models under simulation methods. *Journal of Econometrics*, 141(2), 683-703.
- Chocometrics (2009). NGene 1.0. User Manual & Reference Guide. The cutting edge in experimental design.
- Daganzo, C. (1980). Optimal Sampling Strategies for Statistical Models with Discrete Dependent Variables. *Transportation Science*, 14(4), 324-345.
- Daly, A. (1987). Estimating "tree" logit models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 21(4), 251-267.
- Daly, A. y Bierlaire, M. (2006). A general and operational representation of generalised extreme value models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(4), 285-305.
- Debreu, Gerard (1959). Theory of Value. Cowles Foundation monograph 17. *EUA: John Wiley & Sons*.
- Debreu, Gerard (1960). Topological Methods in Cardinal Utility Theory, en Arrow, K. J., Karlin, S. y Suppes, P. (eds.). *Mathematical Methods in the Social Sciences*, 1959. Stanford, California: Stanford Univ. Press.
- De Jong, G. C. (1990). An indirect utility model of car ownership and private car use. *European Economic Review*, 34(5), 971-985.
- De Jong, G., Fox, J., Daly, A., Pieters, M. y Smit, R. (2004). Comparison of car ownership models. *Transport Reviews*, vol. 24(4), 379-408.
- Dhar, R. (1997). Consumer Preference for a No-Choice Option. *The Journal of Consumer Research*, 24(2), 215-231.
- Dhar, R. y Simonson, I. (2003). The Effect of Forced Choice on Choice. *Journal of Marketing Research*, 40(2), 146-160.
- Dissanayake, D. y Morikawa, T. (2010). Investigating household vehicle ownership, mode choice and trip sharing decisions using a combined revealed preference/stated preference Nested Logit model: case study in Bangkok Metropolitan Region. *Journal of Transport Geography*, 18(3), 402-410.

- Domencich, T. A. y McFadden, D. (1975). *Urban Travel Demand - A Behavioral analysis*. North Holland.
- Evans, A. (1992). Road Congestion Pricing: When is it a good policy?. *Journal of transport economics and policy*, 26(3), 213-243.
- Fowkes A. S. y Wardman, M. (1988). The design of stated preference travel choice experiments: with special reference to interpersonal taste variations. *Journal of transport economics and policy*, 22(1), 27-44.
- Goos, P., Vermeulen, B. y Vandebroek, M. (2008). D-optimal conjoint choice designs with no-choice options for a nested logit model. *Research Paper 2008-020, Department of Mathematics, Statistics and Actuarial Sciences*. University of Antwerp.
- Greene, W. H. y Hensher, D. (2007). Heteroscedastic control for random coefficients and error components in mixed logit. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(5), 610-623.
- Haaijer, M. (1999). *Modeling conjoint choice experiments with the probit model*. The Netherlands: Labyrint Publications.
- Haaijer, R., Kamakura, W y Wedel, M. (2001). The “no choice” alternative in conjoint choice experiments. *International Journal of Market Research*, 43(1), 93-106.
- Halton, J. (1960). On the efficiency of evaluating certain quasi-random sequences for the estimation of LDV models. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 863-896.
- Han G. J. y Shapiro, S. (1966). *A Catalog and Computer Program for the Design and Analysis of Orthogonal Symmetric and Asymmetric Fractional Factorial Experiments*. General Electric Research and Development Center, Schenectady, New York.
- Hague Consulting Group (2000). *Sydney Car Ownership Models*. Report 9009-3B. The Hague: Hague Consulting Group.
- Hausman, J. A. y McFadden, D. (1984). Specification tests for the multinomial logit model. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1219-1240.
- Hensher, D. y Truong, T. P. (1984). Valuation of travel time savings from a direct experimental approach. *Journal of Transport Economics and Policy*, 19 (3), 237-261.
- Hensher, D. A., Barnard, P.O. y Truong, T.P. (1988). The role of stated preference methods in studies of travel choice. *Journal of Transport Economics and Policy*, 22(1), 45-58.
- Hensher, D. A., Barnard, P. O., Smith, N. C. y Milthorpe, F. W. (1992). *Dimensions of Automobile Demand: A Longitudinal Study of Automobile Ownership and Use*. Amsterdam: North Holland.
- Hensher, D. y Bradley, M. (1993). Using Stated Response Choice Data to Enrich Revealed Preference Discrete Choice Models. *Marketing Letters*, 4(2), 139-151.

- Hensher, D. (1994). Stated preference analysis of travel choices: the state of practice. *Transportation*, 21(2), 107-133.
- Hensher, D. y Button, K. (Eds.) (2000). *Handbook of Transport Modelling* (Vol. 1). Emerald Group Pub Limited.
- Hensher, D. y Reyes, A. J. (2000). Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport. *Transportation*, 27(4), 341-361.
- Hensher, D. (2001). The valuation of commuter travel time savings for car drivers: evaluating alternative model specifications. *Transportation*, 28(2), 101-118.
- Hensher, D. y Greene, W. H. (2003). The mixed logit model: The state of practice. *Transportation*, 30(2), 133-176.
- Hensher, D., Rose, J. y Greene, W. H. (2005). *Applied Choice Analysis. A Primer*. Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- Hess, S. (2004). A model for the joint analysis of airport, airline and access-mode choice for passengers departing from the San Francisco Bay Area. En *Proceedings of the European Transport Conference, Strasbourg, France*.
- Hess, S. (2005). Advanced discrete choice models with applications to transport demand. PhD thesis. Centre for Transport Studies, Imperial College London.
- Hess, S. y Rose, J. (2009). Allowing for intra-respondent variations in coefficients estimated on repeated choice data. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(6), 708-719.
- Huber, J. y Zwerina, K. (1996). The Importance of Utility Balance in Efficient Choice Designs. *Journal of Marketing Research*, 33(3), 307-317.
- Jara Díaz, S. R. (2000). Allocation and valuation of travel-time savings . En *Handbooks in Transport, Vol. 1: Transport Modelling*, Hensher, D. y Button, K. (eds.), Pergamon Press, Oxford, 303-319.
- Kanninen, B. J. (2002). Optimal Design for Multinomial Choice Experiments. *Journal of Marketing Research*, 39(2), 214-217.
- Koppelman, F. y Garrow, L. (2005). Efficient estimation of Nested Logit Models using choice-based samples: example applications. En *84th Annual Transportation Research Board*. USA.
- Koppelman, F. y Bhat, C. (2006). A Self Instructing Course in Mode Choice Modeling: Multinomial and Nested Logit Models. *Prepared for U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration*.
- Kroes, P. y Sheldon, R. (1988). Stated Preference Methods: An introduction. *Journal of Transport Economics and Policy*, 22(1), 11-25.

- Kumar, M. y Rao, K. V. K. (2006). A stated preference study for a car ownership model in the context of developing countries. *Transportation Planning and Technology*, 29(5), 409-425.
- Lancaster, K. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 74(2), 132:57.
- Lancaster, K. (1971). *Consumer demand: a new approach*. New York: Columbia University Press.
- Louviere, J. J., y Woodworth, G. (1983). Design and analysis of simulated consumer choice or allocation experiments: an approach based on aggregate data. *Journal of marketing research*, 20, 350-367.
- Louviere, J. (1988). Conjoint Analysis Modelling of Stated Preferences. *Journal of Transport Economics and Policy*, 22(1), 93-119.
- Louviere, J., Hensher, D. y Swait, J. (2000). *Stated Choice Methods. Analysis and Application*. Cambridge University Press.
- Luce, R. D. (1959). *Individual Choice Behavior: A Theoretical Analysis*. New York: Wiley.
- Mackie, Peter (2005). The London congestion charge: A tentative economic appraisal. A comment on the paper by Prud'homme and Bocarejo. *Transport Policy*, 12(3), 288-290.
- Manski, C. (1977). The Structure of Random Utility Models. *Theory and Decision*, 8(3), 229-254.
- Manski, C. y Lerman, S. (1977). The estimation of choice probabilities from choice-based samples. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1977-1988.
- Manski, C. F., y McFadden, D. (Eds.) (1981). *Structural analysis of discrete data with econometric applications*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Marconetti, Diego (2008). Limpieza, tránsito y transporte con mala nota. *La voz del interior*, 7 de diciembre.
- Marconetti, Diego (2009). Las mismas calles, 66% más de vehículos. *La voz del interior*, 7 de diciembre.
- Marconetti, Diego (2013). Se sumaron 146 mil vehículos en 3 años. *La voz del interior*, 6 de febrero.
- Matas, A. y Raymond, J. L. (2008). Changes in the structure of car ownership in Spain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(1), 187-202.
- McFadden, D. (1974). Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour. En Zarembka, P. (Ed.), *Frontiers of Econometrics* (pp. 105-142). New York: Academic Press.

- McFadden, D. (1977). Quantitative methods for analyzing travel behaviour of individuals: some recent developments. *Cowles foundation discussion paper N° 474*. New Haven, Connecticut: Cowles foundation for research in economics at Yale University.
- McFadden, D. (1978). Modelling the choice of residential location. En Karlquist, A., Lundqvist, L., Snickars, L. y Weibull, J. (Eds.), *Spatial Interaction Theory and Residential Location* (pp. 75–96). Amsterdam: North-Holland.
- McFadden, D. (1980). Econometric Models for Probabilistic Choice Among Products. *Journal of Business*, 53(3), 13-29.
- McFadden, D. (1981). Econometric models of probabilistic choice. In Structural Analysis of Discrete Data. C. Manski y D. McFadden, eds. MIT Press, Cambridge, Massachussets.
- McFadden, D. y Train, K. (2000). Mixed MNL Models for Discrete Response. *Journal of Applied Econometrics*, 15(5), 447-470.
- Mohring, H. (1972). Optimization and scale economies in urban bus transportation. *The American Economic Review*, 62(4), 591-604.
- Mohring, H. (1999). Congestion. En Gómez-Ibáñez, J., Tye, W. y Winston, C (Eds.), *Essays In Transportation Economics and Policy*. A Handbook in honor of John R. Meyer (Chapter 6). The Brookings Institution.
- Monfort, A. (1991). Exogenous and endogenous sampling. *Econometric Theory*, 7(3), 417-417.
- Monfort, A. (1992). Exogenous and endogenous sampling. *Econometric Theory*, 8(3), 427-428.
- Newbery, D. M. (1994). Pricing and congestion: economic principles relevant to pricing roads. En Layard, R. y Glaister, S. (eds), *Cost-Benefit Analysis* (Chapter 13). Cambridge University Press, UK. Reimpresión 2003.
- Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L. G. (1994). *Modelling Transport*. Ed. Wiley. Second edition.
- Ortúzar, J. de D. (2000). *Modelos de demanda de transporte*. Alfaomega, Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Page, M., Whelan, G. y Daly, A. (2000). Modelling the factors which influence new car purchasing. Presentado en la *European Transport Conference 2000, PTRC*, Cambridge, UK.
- Prud'homme, R. y Bocarejo, J. P. (2005). The London congestion charge: a tentative economic appraisal. *Transport Policy*, 12(3), 279-287.
- Revelt, D. y Train, K. (1998). Mixed Logit with repeated choices: households' choices of appliance efficiency level'. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 647–657.
- Revelt, D. y Train, K. (1999). Customer-specific taste parameters and mixed logit. *Working Paper N° E00-274*. Department of Economics, University of California, Berkeley, CA.

- Rizzi, L.I. y Ortúzar, J. de D. (2003). Stated preferences in the valuation of interurban road safety. *Accident Analysis and Prevention*, 35(1), 9-22.
- Rizzi, L.I. (2005). The subjective value of road safety in Chile. En Proceedings of Road Safety Conference on Four Continents, Warsaw, Octubre (pp. 5-7).
- Rizzi, L.I. y Ortúzar, J. de D. (2006a). Road safety valuation under a stated choice framework. *Journal of Transport Economics and Policy* 40, 69-94.
- Rizzi, L.I. y Ortúzar, J. de D. (2006b). Estimating the Willingness-to-Pay for Road Safety Improvements. *Transport Reviews* 26(4), 471-486.
- Rose, J. y Bliemer, M. (2004). The design of stated choice experimentes: The State of Practice and Future Challenges. *Institute of Transport Studies Working Paper*, (ITS-WP-04-09). The University of Sydney and Monash University.
- Rose, J. y Hensher, D. (2004). Handling individual specific availability of alternatives in stated choice experiments. Presentado en *7th International Conference on Travel Survey Methods*. Costa Rica.
- Rose, J. y Bliemer, M. (2005a). Constructing Efficient Choice Experiments. *Institute of Transport Studies Working Paper*, (ITLS-WP-05-07). The University of Sydney.
- Rose, J. y Bliemer, M. (2005b). Sample optimality in the design of stated choice experiments. *Institute of Transport Studies Working Paper*, (ITLS-WP-05-13). The University of Sydney.
- Rose, J., Scarpa, R. y Bliemer, M. (2009). Incorporating model uncertainty into the generation of efficient stated choice experiments: A model averaging approach, *International Choice Modelling Conference*, Yorkshire, U.K.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, 82(1), 34-55.
- Sanko, N., Dissanayake, D. y Kurauchi, S. (2009). Inter-temporal analysis of household car and motorcycle ownership behaviors – The case in the Nagoya Metropolitan Area of Japan, 1981-2001. *IATSS Research*, 33(2).
- Sartori, Juan José P. (2003). Estimación de elasticidades de demanda para el transporte urbano de la ciudad de Córdoba (Argentina). *Anales de la XXXVIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política*, Mendoza, Argentina.
- Sartori, J. J. P. (2006a). Regulación de los servicios de taxi y remis: una contribución al análisis de la problemática de la falta de servicios en días feriados y de lluvia en la Ciudad de Córdoba (Argentina). *Documento de trabajo N° 26, Departamento de Economía y Finanzas*, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba.

- Sartori, J. J. P. (2006b). Diseño de un experimento de preferencias declaradas para la elección de modo de transporte urbano de pasajeros. *Revista de Economía y Estadística*, 44(2), 81-123.
- Sartori, J. J. P. (2007). Diseño de experimentos eficientes de elección de modo de transporte aplicando "R". *Anales de la XLII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Sartori, J. J. P. (2010). Estimación de la demanda de viajes al trabajo y la tenencia de vehículo particular utilizando encuestas de preferencias declaradas en la Ciudad de Córdoba – Argentina. *Anales de la XLV Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política*. Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Sartori, J. J. P. y Robledo, C. W. (2011). Simultaneous estimation of mode choice for commuting trips and preference for vehicle ownership in an urban area: the case of Córdoba city in Argentina. Presentado en *International Choice Modelling Conference 2011*, Leeds, UK.
- Scheaffer, R. L., Mendenhall III, W. y Ott, R. L. (2007). *Elementos de muestreo*. Ed. Thomson, 6ta edición. Madrid. España.
- Srinivasan, S. y Walker, J. L. (2009). Vehicle ownership and mode use: the challenge of sustainability. *Transportation*, 36(4), 367-370.
- Street, D. y Burgess, L. (2007). *The construction of Optimal Stated Choice Experiments. Theory and methods*. Ed. John Wiley & Sons.
- Swait, J. y Ben-Akiva, M. (1987). Incorporating random constraints in discrete models of choice set generation. *Transportation Research B: Methodological*, 21(2), 91-102.
- Swait, J., y Bernardino, A. (2000). Distinguishing taste variation from error structure in discrete choice data. *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(1), 1-15.
- Train, K. (1980). A Structured Logit Model of Auto Ownership and Mode Choice. *Review of Economic Studies*, XLVII, 357-370.
- Train, K. (1986). *Qualitative Choice Analysis*. Theory, Econometrics and an Application to Automobile Demand. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Train, K. (1998). Recreation demand models with taste differences over people, *Land Economics*, 74(2), 230-239.
- Train, K. (1999). Halton sequences for mixed logit. Technical paper, Departments of Economics. *University of California, Berkeley*.
- Train, K. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press, UK.
- Tuan, V. A. y Shimizu, T. (2005). Modelling of household motorcycle ownership behaviour in Hanoi City. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1751 – 1765.

- Uzawa, H. (1960). Preference and Rational Choice in the Theory of Consumption, in K. J. Arrow, S. Karlin, y P. Suppes (eds.) *Mathematical Methods in the Social Sciences*, 1959. Stanford, Calif. Stanford Univ. Press, 1960.
- Van Acker, V. y Witlox, F. (2010). Car ownership as a mediating variable in car travel behavior research using a structural equation modeling approach to identify its dual relationship. *Journal of Transport Geography*, 18(1), 65-74.
- Walker, J. L. (2001). Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible Error Structures, and Latent Variables. *Ph.D. Dissertation*, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Walker, J., Ben-Akiva, M. y Bolduc, D. (2004). Identification of the Logit Kernel (or Mixed Logit) model. *Working Paper, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge, MA*.
- Walker, J., Ben-Akiva, M. y Bolduc, D. (2007). Identification of parameters in normal error component logit-mixture (NECLM) models. *Journal of Applied Econometrics*, 22(6), 1095-1125.
- Wardman, M. (2004). Public transport values of time. *Transport Policy*, 11(4), 363-377.
- Whelan, G. (2001). Methodological advances in modelling and forecasting car ownership in Great Britain. Presentado en *European Transport Conference 2001, PTRC*. Cambridge, UK.
- Whelan, G. (2007). Modelling car ownership in Great Britain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3), 205-219.
- Wen, C. H. (2010). Alternative tree structures for estimating nested logit models with mixed preference data. *Transportmetrica*, 6(4), 291-309.