



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Movilidad cotidiana: efectos del entorno construido en la elección del modo de viaje en Montevideo

Joselina Davyt Colo

Programa de Maestría de Economía
Facultad de Ciencias Económicas y de Administración
Universidad de la República

Montevideo – Uruguay
Diciembre de 2017



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Movilidad cotidiana: efectos del entorno construido en la elección del modo de viaje en Montevideo

Joselina Davyt Colo

Tesis de Maestría presentada al Programa de Maestría de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración de la Universidad de la República, como parte de los requisitos necesarios para la obtención del título de Magister en Economía.

Director:

Ph.D. Profa. Bibiana Lanzilotta

Codirector:

M.Sc. Profa. Paula Cobas

Montevideo – Uruguay

Diciembre de 2017

, Joselina Davyt Colo

Movilidad cotidiana: efectos del entorno construido en la elección del modo de viaje en Montevideo / Joselina Davyt Colo . - Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, 2017.

XIV, 130 p.: il.; 29,7cm.

Director:

Bibiana Lanzilotta

Codirector:

Paula Cobas

Tesis de Maestría – Universidad de la República, Programa de Maestría de Economía, 2017.

Referencias bibliográficas: p. 101 – 112.

1. Modelos de elección binaria, 2. Modelos mixtos, 3. Comportamiento de viaje, 4. Uso del suelo urbano, 5. Planificación del desarrollo sostenible. I. Lanzilotta, Bibiana, *et al.* II. Universidad de la República, Programa de Maestría de Economía. III. Título.

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

D.Sc. Prof. Nombre del 1er Examinador Apellido

Ph.D. Prof. Nombre del 2do Examinador Apellido

D.Sc. Prof. Nombre del 3er Examinador Apellido

Ph.D. Prof. Nombre del 4to Examinador Apellido

Ph.D. Prof. Nombre del 5to Examinador Apellido

Montevideo – Uruguay

Diciembre de 2017

A mi familia y amigos.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas que han sido parte de este esfuerzo, por su apoyo, conocimiento y guía.

En primer lugar a mis directoras de tesis, Dra. Bibiana Lanzilotta y Paula Cobas, sin quienes no hubiese sido posible llegar a concluir la tesis, por su ánimo, apoyo y guía en todo el proceso.

A los profesores Carlos Bianchi y Alicia Failde, coordinadores de la Maestría en Economía de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, que me han apoyado dando ánimo y confianza, y gracias a quienes pude realizar seminarios e intercambios internacionales que enriquecieron mi vida académica y personal.

Al Grupo de Investigación en Dinámica Económica, que coordina el profesor Dr. Juan Gabriel Brida, por sus diversos aportes y discusiones.

A la Comisión de Posgrados de la Universidad de la República, por brindar el apoyo a través de la beca de finalización de tesis de posgrados.

A los compañeros del Centro Interdisciplinario de Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática, Ignacio Lorenzo, Laura Astigarraga, Rafael Terra, Gabriela Cruz, Rocío Guevara, Miguel Carriquiry, Javier Taks, entre muchos más, por su ánimo y fuente de inspiración.

A los profesores y profesionales Andrés Pereyra, Diego Hernández, Jorge Molinari, Carlos Mendive y Patricia Triunfo.

A mis compañeros de maestría, especialmente a Pablo Picardo y Alejandro Pérez que han sido parte importante de este logro.

A mis compañeros de CPA Ferrere.

A los que siempre están, mi familia y seres queridos que hacen que todo sea posible.

A todos ustedes, mi mayor reconocimiento y gratitud.

The idea of the planned city as a knowable utopia is a chimera. Nevertheless, we continue to try to plan in the belief that the world will be a better place if we intervene to identify and solve issues that are widely regarded as problematic. But this must be tempered with an awareness of the limitations of planning, not least through an awareness of the evolutionary nature of urban change...

(Batty y Marshall, 2012)

RESUMEN

Conocer los determinantes de los modos de viaje elegidos por las personas es un insumo fundamental en el diseño de políticas públicas que transformen la cotidianidad urbana, fomenten la sustentabilidad del sector de transporte y generen mayor eficiencia, calidad y accesibilidad al sistema, aumentando el bienestar de los habitantes de la ciudad. El presente estudio examina la influencia del entorno construido de las zonas de residencia de las personas sobre la decisión de viajar en tres modos de viaje, el vehículo privado, el transporte público y los modos no motorizados, para la ciudad de Montevideo.

La metodología empírica utilizada se basa en la estimación de modelos logísticos multinivel para determinar el efecto del entorno construido y la variabilidad de la zona de residencia, controlando por variables sociodemográficas, de las alternativas y de las actividades. Los modelos multinivel permitieron introducir dos niveles de análisis, los de los viajes y los de las zonas, y contrastar hipótesis sobre los determinantes que afectan cada nivel. La principal conclusión es que el uso de los modos de viaje presenta heterogeneidad a nivel de la zona de residencia, pues se han encontrado distintas probabilidades de uso de los modos por zonas. La diversidad de usos del suelo, principal indicador del entorno construido, resultó significativa sobre los tres modos de viaje, afectando positivamente al transporte público y negativamente al vehículo privado y a los viajes no motorizados. La proximidad de las paradas de ómnibus en la zona de residencia aumenta la probabilidad de uso de los modos no motorizados y baja la probabilidad de uso del vehículo privado. De estos y otros resultados alcanzados en la investigación se infiere que es posible construir políticas de uso del suelo y de diseño urbano que estimulen el uso de modos no motorizados y el transporte público, y desincentiven el uso del vehículo privado.

Palabras claves:

Modelos de elección binaria, Modelos mixtos, Comportamiento de viaje, Uso del suelo urbano, Planificación del desarrollo sostenible. (*JEL* C21, C25, R41, R52, R58)

ABSTRACT

Understanding the determinants of travel mode choice is a fundamental input to design public policies that transform urban daily life, promote the sustainability of transport sector and generate greater efficiency, quality and accessibility to the system. The present study analyses whether the decision of transport mode is influenced by built environment characteristics of residential areas, taking into account three modes of transportation, car, public transport and non-motorized modes, for the city of Montevideo.

The empirical methodology used is based on logistic multilevel model estimation to determine the effect of the built environment and the variability of residence area, controlling for three sets of variables: socio-demographic characteristics, travel attributes and activity characteristics. Multilevel models allowed to introduce two levels of analysis, individual travel and zones, to contrast hypotheses on variables for both levels. The main conclusion is that the choice of transport modes presents heterogeneity at residence area level, since different probabilities of using the modes by geographic zones have been found. The diversity of land uses, the main indicator of built environment, resulted in significant effects on the three modes of transportation, positively affecting public transport and negatively affecting the private vehicle and non-motorized travels. The proximity of bus stops in residence areas increases the probability of non motorized travels and decrease the probability of using a car. From these and other results achieved as a result of this investigation, it is inferred that it is possible to carry out land use and urban design policies that encourage the use of non-motorized modes and public transportation, and discourage the use of private vehicles.

Keywords:

Binary choice model, Mixed model, Travel behavior, Urban land Use, Sustainable development planning. (*JEL* C21, C25, R41, R52, R58)

Lista de figuras

3.1	Ciclo de retroalimentación transporte-uso del suelo	17
3.2	Modelo Conceptual del comportamiento de viaje	19
3.3	Efectos estilizados de los cambios en el tiempo de viaje	23
3.4	Efectos estilizados del cambio modal	25
3.5	Efectos estilizados del uso del suelo	30
3.6	Modelo simplificado elección modal	33
4.1	Niveles de análisis en los modelos de elección modal	46
4.2	Componentes de la varianza de la variable de respuesta	47
5.1	Esquema recopilación de datos	49
5.2	Proporción de viajes por modo de transporte y zonas de residencia	51
5.3	Diversidad de usos de suelo por zonas de transporte	56
5.4	Caracterización de las zonas de residencia por diversidad de usos del suelo	57
5.5	Densidad poblacional de Montevideo por zonas de residencia . . .	58
6.1	Probabilidad de emplear vehículo privado, modelo nulo	62
6.2	Residuos totales del modelo multinivel del vehículo privado	67
6.3	Residuos del segundo nivel modelo multinivel del vehículo privado	67
6.4	Probabilidad marginal vehículo privado y motivo de viaje	68
6.5	Probabilidad marginal vehículo privado y tamaño del hogar	68
6.6	Probabilidad marginal vehículo privado y edad	69
6.7	Probabilidad marginal vehículo privado, ingresos y tenencia de vehículo	69
6.8	Probabilidad de emplear medios no motorizados, modelo nulo . . .	72
6.9	Residuos totales modelo multinivel modos no motorizados	74

6.10	Residuos del segundo nivel modelo multinivel modos no motorizados	74
6.11	Probabilidad marginal modos no motorizados y motivo de viaje	75
6.12	Probabilidad marginal modos no motorizados, tiempo y tenencia	75
6.13	Probabilidad marginal, ingresos y tenencia de vehículo, modelo modos no motorizados	75
6.14	Probabilidad marginal transporte público, modelo nulo	78
6.15	Probabilidad marginal transporte público y tiempo de viaje)	82
6.16	Probabilidad marginal transporte público, tiempo de viaje y tenencia de vehículos	83
6.17	Probabilidad marginal transporte público, tiempo de viaje y sexo	83
6.18	Residuos totales modelo multinivel transporte público	83
6.19	Residuos del segundo nivel modelo multinivel transporte público	83
6.20	Efecto del tiempo de viaje en la propensión de uso del transporte público, por zona de residencia	88
1.1	Mapa Zonas de Análisis de Transporte Área Metropolitana . . .	114
1.2	Mapa Zonas de Análisis de Transporte Montevideo	115
1.3	Mapa Zonas de Análisis de Transporte y Barrios de Montevideo	116
4.1	Distribución de paradas de transporte público en Montevideo . .	121
4.2	Longitud líneas de transporte público en Montevideo	123

Lista de tablas

3.1	Paradigma Movilidad Sustentable	15
5.1	Cantidad de viajes por modo de transporte	51
5.2	Cantidad de viajes por motivo	53
5.3	Cantidad de viajes por sexo	54
5.4	Cantidad de personas con vehículo en el hogar	54
5.5	Proporción de viajes por modo y tenencia de vehículo	54
6.1	Resultados estimaciones modelos intercepto aleatorio vehículo privado	61
6.2	Resultados estimaciones modelos intercepto aleatorio viajes modos no motorizados	70
6.3	Resultados estimaciones modelos intercepto aleatorio transporte público	77
6.4	Zonas con probabilidad de uso del transporte público igual al promedio	79
6.5	Resultados estimaciones modelos con la variable tiempo de viaje como pendiente aleatoria	85
6.6	Resumen resultados de los modelos nulos de intercepto aleatorio	90
6.7	Coefficiente correlación intraclase para los distintos modelos de los modos de viaje	90
6.8	Resultados de los efectos de las variables individuales (primer nivel) sobre la probabilidad de uso de los distintos modos de viaje	91
6.9	Resultados de los efectos del entorno construido sobre la probabilidad de uso de los distintos modos de viaje	92
4.1	Estadísticas descriptivas de las variables empleadas	122

Tabla de contenidos

Lista de figuras	x
Lista de tablas	xii
1 Introducción	1
2 Antecedentes	7
2.1 Forma urbana y movilidad	7
2.2 Políticas de movilidad sustentable y cambio modal	11
3 Marco teórico	14
3.1 Movilidad, sustentabilidad y complejidad	14
3.2 Enfoque de decisiones jerárquicas	16
3.3 Movilidad cotidiana y la elección modal	20
3.3.1 Comportamiento de viaje	21
3.3.2 Entorno construido	25
3.3.3 Entorno construido y elección modal	28
4 Estrategia y metodología de análisis	35
4.1 Elección modal: modelización multinivel	36
4.1.1 Utilidad de las alternativas de viaje	37
4.1.2 Identificación	38
4.1.3 Modelos binarios	40
4.2 Una medida de complejidad de las ciudades: Diversidad de usos del suelo	43
4.3 Modelos de análisis	46
5 Datos, variables y modelos	48
5.1 Datos	48

5.2	Área de Estudio	50
5.3	VARIABLES dependientes	50
5.4	VARIABLES de Análisis	52
6	Resultados	59
6.1	Elección Vehículo privado	60
6.2	Viajes no motorizados: ir a pie o en bicicleta	69
6.3	Uso del Transporte público	76
6.4	Un modelo de pendiente aleatoria: el efecto del tiempo	84
6.5	Resumen	89
7	Conclusiones	93
7.1	De los objetivos, las preguntas e hipótesis	93
7.2	Del alcance, limitaciones y extensiones	96
7.3	De las recomendaciones de políticas	98
	Referencias bibliográficas	101
	Anexos	113
	Anexo 1 Zonas de Análisis de Transporte	114
	Anexo 2 Método de estimación regresión logística con intercepto aleatorio	117
	Anexo 3 Indicadores de diversidad	119
	Anexo 4 Estadísticos descriptivos y mapas de las variables explicativas	121
	Anexo 5 Encuesta de Origen-Destino 2009	124

Capítulo 1

Introducción

La movilidad urbana es un fenómeno complejo, tanto porque se enmarca en un territorio con una estructura y dinámica excepcional, como lo es la ciudad, como también por el hecho de que representa una demanda derivada (Batty et al. 2004; Batty 2013; Batty et al. 2014; McFadden 1974; Gershenson 2016; Mokhtarian y Salomon 2001). En términos generales, la movilidad urbana refiere a los desplazamientos que personas o mercancías realizan en un determinado ámbito socioeconómico con el objetivo de realizar ciertas actividades, incluye el espacio y tiempo en que se realizan los desplazamientos, los motivos y el modo de transporte utilizado. Además del hecho de su complejidad como fenómeno de análisis, la movilidad cotidiana juega un rol importante en el desarrollo urbano y bienestar social, al proveer acceso a las personas a educación, empleo, recreación, salud y otros servicios claves para el bienestar individual y colectivo.

En las ciudades, el transporte, en particular el automóvil privado, causa diferentes efectos externos, externalidades que no forman parte del proceso de decisión del viajero e imponen costos sobre la sociedad y el medio ambiente, como ser: accidentes, contaminación del aire, cambio climático, ruidos, congestión, efectos en la salud y efectos ecosistémicos (Verhoef 1994; Meurs y Van Wee 2003; Bhat et al. 2009). Las emisiones de carbono están afectando el clima global con consecuencias irreversibles a largo plazo y el transporte es el sector en el cual se enfrentan los mayores desafíos para reducir las emisiones y uso de energía (Banister 2011). En el caso de los hogares la dependencia del automóvil aumenta los gastos de transporte, a nivel de la comunidad contribuye a los procesos de segmentación social y a nivel regional genera impactos sobre el

medioambiente, congestión, salud, desarrollo, infraestructura y fragmentación, uso del suelo y consumo energético (Bhat et al. 2009).

La creciente dependencia del automóvil ha sido impulsada por los procesos de dispersión urbana, el aumento de la velocidad en los vehículos y el aumento del ingreso de las personas, entre otros factores. La dispersión urbana intensifica el uso del automóvil privado al aumentar la distancia de los desplazamientos (Camagni et al. 2002; Banco de Desarrollo de América Latina 1989). Además debido a la baja densidad poblacional la demanda de transporte no puede ser totalmente atendida por servicios e infraestructuras de transporte público. Por su parte, el aumento de los ingresos de los hogares aumenta la demanda de movilidad bajo ciertos patrones determinísticos: cambio de modos lentos a rápidos a medida que aumentan los ingresos y la demanda de movilidad (Schafer y Victor 2000).

Schafer y Victor (2000) afirman que han sido las políticas las que han modificado la selección natural de los modos de transporte. Desafortunadamente, la dependencia puede ser fomentada mediante: i) subsidios que disminuyen el costo de conducir; ii) políticas económicas y las actitudes sociales que alientan a moverse de las zonas centrales más densas y convenientes a los suburbios en expansión; iii) renovación urbana y construcción de autopistas; iv) patrones de asentamiento de baja densidad y aislamiento de áreas residenciales de compras, servicios y trabajos; v) pobre servicio de transporte público; y vi) áreas residenciales y de compras no amigables para peatones y ciclistas (Holtzclaw 1994). La utilización de políticas destinadas a reducir la demanda de viajes y la dependencia del automóvil, mediante la manipulación de la forma urbana, se basan en una variedad de hipótesis que caracterizan la naturaleza de la relación entre la demanda de viaje y los factores de forma urbana y no urbana (Frank y Pivo 1994; Schwanen et al. 2004).

Maat et al. (2005) indican que las políticas uso del suelo enfocadas en modificar los patrones de movilidad tienen como objetivo reducir las distancias de viaje, aumentar la base de población para el transporte público, y aumentar el atractivo de los viajes a pie o en bicicleta, al ubicar las localizaciones residenciales, de empleo y de servicio más cercanas entre sí. Ejemplos de políticas con tales objetivos, además de la de planificación del desarrollo urbano, son las de la ciudad compacta, la descentralización concentrada, la planificación de la localización de empresas y minoristas, el desarrollo orientado a la accesibilidad y movilidad, el desarrollo de transporte vinculado a la densificación, entre otras.

Uno de los principios que guían dichas políticas es la integración de modelos de desarrollo de uso del suelo con los objetivos de movilidad sustentable ([Banister 2008](#)), para inducir cambios en la elección modal.

La relación entre la forma urbana, el entorno construido, y los patrones de movilidad es un campo de investigación crucial en el debate del desarrollo urbano sustentable. Las políticas de planificación territorial de largo plazo, dirigidas a reducir los viajes en automóvil y las emisiones, se nutren de dicha relación ([Boarnet y Crane 2001](#)). El interés del análisis de la forma urbana y los patrones de movilidad es mejorar la eficiencia del uso de recursos en diferentes formas urbanas. Ésta se encuentra sujeta a grandes variaciones con referencia a dos recursos escasos, la tierra (para usos residenciales) y los recursos energéticos (por movilidad) y sugiere la necesidad de coordinación de políticas en dichos aspectos ([Camagni et al. 2002](#))¹.

La investigación sobre la elección modal en las ciudades de Uruguay es muy escasa. Los patrones de viaje de regiones en desarrollo, como Montevideo, difieren de las condiciones norteamericanas y europeas. Las diferencias en las condiciones de ingreso, propósito de viaje, posesión de vehículo privado, segregación social y desarrollo urbano fundamentan la necesidad de realizar investigaciones acerca de la elección modal para el caso uruguayo ([Cervero 2013](#); [Petersen y Institute 2004](#)). Un reciente informe que realiza un análisis descriptivo de la elección de los modos de viaje en América Latina, incluida la ciudad de Montevideo, es el informe de la [Banco de Desarrollo de América Latina \(1989\)](#).

Las políticas de transporte urbano afectan considerablemente el entorno y forma urbana, y a las políticas públicas relacionadas, por lo que la integración de las políticas es un elemento clave para avanzar en el desarrollo y bienestar urbano. Dicha integración es escasa y confusa en la realidad montevideana, al igual que sucede en otras ciudades de países en desarrollo debido al amplio rango de problemas a abordar.² Por ejemplo, si bien la Intendencia de Monte-

¹El consumo de tierra depende directamente de la relativa compactibilidad de los asentamientos humanos y de la densidad residencial; el consumo de energía, por el otro lado, depende indirectamente de las mismas variables, a través de su relación con los patrones de movilidad.

²Considerar la coordinación de las políticas de transporte urbano y de uso del suelo y ordenamiento territorial conlleva a potenciales beneficios económicos, sociales y medioambientales. Las características particulares de los procesos de desarrollo en Uruguay y particularmente en Montevideo suponen grandes desafíos académicos como políticos que llevan a la necesidad de preguntarse en primera instancia como es la relación entre el transporte urbano y la forma urbana, concretamente desde el enfoque a la demanda la relación entre los

video tiene objetivos concretos en cuanto al desarrollo del transporte público los viajes no motorizados son subestimados y generalmente no aparecen como prioridad en la formulación de estrategias (Petersen y Institute 2004), y tampoco se observan políticas concretas de desaliento a la masiva utilización de vehículo privado.

Van Wee y Handy (2014) no tienen dudas de que la investigación disponible ha dejado en evidencia que el comportamiento de viaje está estrechamente vinculado a los patrones de uso de la tierra y al entorno construido en general. Afirman que frente a los impactos medioambientales negativos del transporte, como las emisiones y contaminantes, los hacedores de política tienen disponible múltiples opciones. Una de dichas opciones, propuesta tanto por investigadores como por hacedores de política, refiere a los tipos de políticas que entran dentro de la categoría de políticas de uso del suelo. El debate lo encuentran sobre si la implementación de nuevas políticas de uso del suelo cambiarán significativamente el comportamiento de viaje. Sujeto a ello, las preguntas que sostienen como relevantes desde el punto de vista de la investigación son: (a) ¿Qué variables de uso del suelo influyen en el comportamiento de viaje, y en qué medida?; (b) ¿Qué beneficios tienen las políticas de uso de la tierra además de su impacto en el comportamiento de viaje y, en consecuencia, en el medio ambiente?; y (c) ¿Cómo deberían evaluarse las políticas de uso de la tierra? En el presente trabajo, se entiende pertinente, dado el desarrollo de la investigación en la materia en Uruguay, comenzar por examinar la primera pregunta de investigación presentada por Van Wee y Handy (2014) y tomarla como la pregunta de investigación que guíe el desarrollo del presente trabajo.

De este modo, el objetivo general del documento es generar conocimiento acerca de los determinantes de la elección modal en la movilidad cotidiana, enfocándose en la ciudad de Montevideo. Busca aportar nuevos fundamentos para avanzar en las políticas de movilidad sustentable integrando no sólo los aspectos que influyen en la elección del transporte público sino también en la elección del vehículo privado y de modos no motorizados.

El principal objetivo es discriminar los factores del entorno construido, de los socioeconómicos y de los atributos del viaje, que determinan la elección modal con respecto a tres alternativas: vehículo privado, transporte público y viajes no motorizados. De esta forma, busca respuestas a las siguientes pre-

patrones de movilidad de personas y el entorno urbano de la ciudad de Montevideo (Cervero 2013).

guntas de investigación: ¿Influye el entorno construido en la elección modal en Montevideo? ¿Qué aspectos del mismo y en qué medida?

A su vez, se persiguen los siguientes objetivos específicos:

- Conocer la propensión de uso de los distintos modos de viaje.
- Determinar la contribución de la variabilidad por zona de residencia a la elección modal.
- Definir una metodología adecuada al problema de estudio.
- Adaptar un indicador de diversidad de usos del suelo a la realidad Montevideana.
- Determinar los efectos del entorno construido.
- Encontrar elementos que arrojen luz sobre las políticas públicas de cambio modal. Avanzar en el análisis de la necesidad de integración de las políticas de transporte y ordenamiento territorial.
- Generar un primer hito hacia el estudio del comportamiento de viaje en Montevideo.

Para ello se utiliza la encuesta de origen-destino públicamente disponible de Montevideo (correspondiente al año 2009), la cual se complementa con la información geo-referenciada de la ciudad de Montevideo, proveniente de GIS de la Intendencia de Montevideo. El enfoque de análisis considera la heterogeneidad espacial a través de modelos multinivel que toman en cuenta la variabilidad del individuo y de la zona de residencia.

El documento se divide en seis capítulos además de la introducción. En el próximo capítulo se expone la literatura antecedente en el marco del objetivo de la investigación. El capítulo tres refiere a las consideraciones teóricas, en el mismo se expone la visión desde la movilidad sustentable y la complejidad de las ciudades, se sintetiza el enfoque teórico general, y se detallan tres secciones, a saber: 1) el comportamiento de viaje, 2) el entorno construido y 3) la relación entre el entorno construido y la elección modal. Dicho capítulo finaliza con la descripción de las hipótesis que guían el trabajo. En el capítulo cuatro se abordan las metodologías de análisis y estrategia empírica, principalmente se detalla la modelización multinivel y el diseño del indicador de entropía urbana. A continuación, en el capítulo cinco, se describe el caso de estudio, los datos utilizados, las variables generadas y los modelos a desarrollar que conforman la base de datos para el análisis empírico. En el sexto capítulo se desarrollan los resultados de la investigación, organizados de la siguiente

manera, en primer lugar se analizan en forma separada los resultados de los modelos de intercepto aleatorio para los tres modos de transporte (vehículo privado, modos no motorizados y transporte público). En segundo término se presentan los resultados del modelo que incorpora la variabilidad entre zonas de residencia del tiempo de viaje y por último a modo de síntesis se presenta un resumen final. Finalmente, el séptimo capítulo plasma las conclusiones y discusiones en torno a posibles extensiones, a la luz de los resultados obtenidos y las hipótesis planteadas.

Capítulo 2

Antecedentes

Este apartado tiene como principal propósito dar cuenta de la literatura y antecedentes considerados respecto a la conexión entre la forma urbana y los patrones de movilidad, y de las políticas que se enfoquen en el cambio modal. Es importante destacar que la literatura presentada se establece conforme a los objetivos de investigación, ciertamente existe una vasta literatura referente a las relaciones entre la movilidad y la forma urbana que no es abordada en esta revisión ya que excede los propósitos de esta tesina.

2.1. Forma urbana y movilidad

Si bien en Uruguay prácticamente no existen estudios que indaguen en la relación entre el entorno construido y los patrones de movilidad, si existen estudios para distintas ciudades y localidades a nivel internacional. Éstos toman en cuenta las características de los individuos, los hogares y la forma urbana, para explicar los patrones de movilidad urbana y/o consumo de energía en transporte.

Dependiendo de la escala de análisis, el entorno construido de la forma urbana es a menudo representado por la densidad poblacional, la diversidad de uso del suelo, la accesibilidad al tránsito ([Zahabi et al. 2012](#)), el diseño urbano, la infraestructura, entre otros. Los patrones de movilidad urbana son representados por la distancia de viaje, el modo elegido (auto, ómnibus, bicicleta, etc), el tiempo de viaje, que son indicadores de la demanda de transporte de pasajeros.

[Kim y Wang \(2015\)](#) destacan la importancia de las características urbanas

del lugar de residencia de las personas (que definen la forma o estructuras de los asentamientos urbanos) en tanto restringen las decisiones individuales de movilidad urbana. En otras palabras, la decisión individual en la elección de la forma de viaje urbano (o bien entendido como patrones de movilidad urbana) es a menudo influenciada por el contexto del barrio de residencia, debido a que los individuos encuentran ciertas restricciones para realizar sus decisiones de viajes. Su estudio empírico aplica métodos multinivel para analizar la elección modal, la cantidad de viajes realizados, la distancia de viaje y el tiempo de viaje. La creciente dependencia del vehículo privado forma parte de uno de los debates principales de eficiencia energética y ciudades sostenibles, en ese sentido [Kim y Wang \(2015\)](#) analizan los determinantes de la elección del automóvil privado frente a los demás modos de transporte. Sus resultados indican que los patrones de movilidad son influenciados tanto por las características individuales como por las de la zona de residencia. Encuentran evidencia empírica respecto a que indicadores sobre accesibilidad explican la variación de la elección modal entre las zonas de residencia y que la distancia de viaje varía ampliamente entre zonas de residencias. No hallan un efecto significativo del uso del suelo en los patrones de movilidad. Sus estudios apoyan la hipótesis de que las millas recorridas por vehículo son influenciadas tanto por los comportamientos individuales como por los contextos residenciales.

[Zahabi et al. \(2012\)](#), al igual que [Kim y Wang \(2015\)](#), consideran que el modo de transporte elegido por el pasajero se encuentra directamente influenciado por las características de la zona de residencia del individuo. Los autores analizan el impacto de la forma urbana, la oferta de transporte público y los precios de aparcamiento en la elección del modo de viaje de los pasajeros que viven cerca de líneas ferroviarias, en la región de Montreal. Las variables que utilizan para definir la forma urbana son la densidad poblacional y la densidad de empleo¹. Enfocados en dos modos de transporte, transporte privado (automóvil) y transporte público, [Zahabi et al. \(2012\)](#), a diferencia de [Kim y Wang \(2015\)](#), utilizaron metodologías estadísticas de ecuaciones simultáneas. Su elección metodológica responde a que consideran relevante el efecto de auto-selección residencial, es decir, que la elección del lugar de residencia y la elección del modo de viaje pueden ser consideradas como decisiones endógenas.

¹ Por otro lado, consideran relevante las características de los hogares, número de vehículos por hogar, número de personas, número de niños, ingreso y número de trabajadores, variables que [Kim y Wang \(2015\)](#) no utilizaron.

Encuentran evidencia de que el tipo de barrio (o zona de residencia) juega un rol importante en la elección modal, cada tipo de barrio definido como un segmento es atribuido a distintos tipos de forma urbana. Asimismo concluyen que los atributos socioeconómicos de los individuos representan factores importantes en la elección modal de los individuos.

[Brownstone y Golob \(2009\)](#) también subrayan la característica de endogeneidad entre patrones de movilidad urbana y decisiones de localización residencial, al igual que [Zahabi et al. \(2012\)](#) plantean un modelo de ecuaciones simultáneas. Su objetivo es determinar las relaciones entre las millas conducidas por vehículo (totales anuales por hogar), el uso de combustible y las viviendas por millas cuadradas, controlando por variables sociodemográficas a nivel del hogar (vehículos por hogar, ingreso del hogar, número de niños, etc.). Encuentran que la densidad influye directamente en el empleo del vehículo y que tanto el uso vehicular como la densidad influyen el consumo de combustible.

La densidad ha sido un componente clave en estudios acerca del efecto del entorno construido en el comportamiento de viaje. [Chen et al. \(2008\)](#) buscan generar evidencia adicional sobre el fenómeno. Los autores enfatizan en que el efecto de la densidad no es evidente y que existen factores de confusión que inciden en la generación de evidencia. Se preguntan entonces cuál es el papel de la densidad, si dada su incidencia puede ser utilizada como herramienta de política de planificación de los barrios o si actúa como proxy para otras variables. Su análisis empírico utiliza como metodología dos ecuaciones simultáneas para la propensión a usar vehículo privado y la tenencia de vehículo. Las variables exógenas del modelo están agrupadas en dos categorías: las socioeconómicas y variables del entorno construido. Dentro de las variables de entorno construido consideran tanto el efecto de la densidad poblacional como la densidad de empleo, entre otras variables. Los resultados de su estudio confirman que el entorno construido juega un papel importante en la configuración del comportamiento de elección modal de las personas que realizan viajes del trabajo al hogar. Además encuentran que el efecto de la densidad de empleo es mucho más fuerte que el de la densidad poblacional. Desde el punto de vista de las políticas públicas indican que la planificación barrial a través del uso mixto del suelo no es suficiente sino que debería complementarse con políticas de densidad de empleo o de foco en los atributos del trabajo y centros de empleo.

Reilly y Landis (2003) analizan la influencia de la forma urbana y el uso del suelo en la elección modal. Su estrategia de investigación combina información detallada del comportamiento de viaje del hogar y datos de forma urbana provenientes de medidas generadas a través de sistemas de información geográfica. La unidad que utilizan para calcular distintas medidas de entorno construido surge de subdividir la región en cuadrículas más pequeñas o rásteres, de 100 metros de lado. De forma de identificar características del entorno construido en cada barrio se incrementa el radio alrededor de cada media, y se generan las siguientes variables: densidad poblacional, accesibilidad a usos comerciales y actividades, heterogeneidad de uso del suelo, diversidad de viviendas, tamaño promedio de las cuadras, densidad de intersección, tamaño medio de las parcelas y heterogeneidad visual.

En el caso de los viajes a pie existe evidencia empírica que respalda la hipótesis de la relación entre el entorno construido y la elección de este modo de viaje. Se encuentra evidencia consistente entre la elección de ir a pie y los factores del entorno construido como ser la densidad, el uso mixto del suelo y la proximidad a locaciones no residenciales (Saelens y Handy 2008; Gómez et al. 2010). Cervero y Duncan (2003) analizan las relaciones entre el entorno construido y los viajes no motorizados. Enfatizan en que el análisis de los viajes no motorizados requiere un enfoque diferente que el realizado para los viajes en vehículo, o medios motorizados; por ejemplo, puede ser relevante establecer los factores que representan barreras a dichos viajes, como el clima y la seguridad. Estiman modelos discretos, logit, para estimar la probabilidad de ir caminando o en bicicleta. Sus resultados revelan que el entorno construido ejerce mayores impactos alrededor del vecindario residencial que en el destino. Y que los factores sociodemográficos son predictores más fuertes de la probabilidad de viajar en los modos no motorizados. Esbozan que una implicancia en las políticas públicas de largo plazo está en el diseño de barrios amigables para caminar teniendo en cuenta los grupos sociodemográficos con mayor tendencia a realizarlos. La diversidad de usos del suelo, como la presencia de ventas minoristas en el vecindario, fue uno de los predictores más fuertes para los viajes a pie. En los viajes en bicicleta la densidad del origen tiene mayor efecto sobre la probabilidad de su uso como medio de transporte.

Otros estudios se enfocan en la influencia del entorno construido sobre los viajes a pie de los adultos mayores, desde el punto de vista de la salud y la independencia social. Desde los enfoques metodológicos similares dichos

estudios se centran en los factores del entorno construido que estimulan o desestimulan los viajes a pie de los adultos mayores, y de la sociedad en general, determinando a largo plazo una población con peores indicadores de salud e independencia, como los procesos de discapacidad (Mercado et al. 2007; Clarke y George 2005; Parra et al. 2010).

Otra parte de la literatura relacionada con la forma de las ciudades y el modo de transporte se desarrolló en torno a la preocupación por el consumo energético. Holden y Norland (2005) analizan la influencia de distintas variables en el consumo anual de energía por hogar per cápita (de la vivienda y por transporte), con las siguientes particularidades: toman en cuenta características de la estructura urbana y de la estructura de la vivienda, definen diferentes tipos de hogares (según su composición) y consideran atributos socioeconómicas de los individuos. Realizan un análisis multivariado a través de datos que corresponden a un cuestionario que enviaron de forma aleatoria a 2500 individuos. El objetivo de dichos autores es plantear los desafíos de una ciudad compacta respecto al consumo de energía tanto en transporte como en vivienda. La literatura sobre las relaciones entre transporte, estructura urbana y consumo energético entrama relaciones complejas. Boarnet y Crane (2001) advierten que las proxies sobre estructura urbana generalmente usadas, como densidad de población, pueden resultar confusas, en el sentido de que no resulta tan evidente los efectos demográficos sobre la forma urbana, y que pueden existir relaciones de endogeneidad entre un barrio denso y el nivel de ingreso de los hogares residentes.

2.2. Políticas de movilidad sustentable y cambio modal

Respecto a las políticas públicas Van Wee y Handy (2014) enuncian que frente a los impactos medioambientales negativos del transporte, como las emisiones y contaminantes, los hacedores de política tienen disponible múltiples opciones. Algunas de ellas, propuesta tanto por investigadores y hacedores de política, refieren a las políticas de uso del suelo; densificación, desarrollo de usos mixtos del suelo, desarrollo orientado al tránsito, zonas libres de vehículos, diseños urbanos para acomodar personas en vez de autos. Las mismas pueden referirse a escala regional, como el desarrollo urbano orientado al tránsito, o a

escala barrial como el caso de la densificación, los usos mixtos del suelo, diseño de calles, zonificación, etc.

Las arduas críticas y discusiones sobre la pertinencia de la densidad de población como una de las variables que definen la estructura de la ciudad (de modo tal que se pueden definir ciudades compactas, monocéntricas, policéntricas, etc.) se presentan en torno a los resultados del estudio de [Newman y Kenworthy \(1989\)](#). Dichos autores analizan la relación entre la densidad de población y el consumo de gasolina de ciudades asiáticas, europeas y norteamericanas. A diferencia de los enfoques anteriores, el análisis Newman y Kenworthy es en términos agregados, es decir, comparan patrones entre distintas ciudades o regiones. Por el otro lado, los estudios de [Kim y Wang \(2015\)](#), [Holden y Norland \(2005\)](#), [Zahabi et al. \(2012\)](#) y [Brownstone y Golob \(2009\)](#) son análisis desagregados ya que incluyen micro-datos a nivel de las personas.

[Schwanen et al. \(2004\)](#) analizan las distintas políticas de forma urbana aplicadas en Holanda para afectar la elección del modo de transporte. Específicamente analizan 4 políticas: a) la política de descentralización concentrada, b) la estricta política de ciudad compacta, c) la llamada política *A-B-C*² de locación de empresas, y d) la política de planificación de la venta minorista. Concluyen que las políticas de planificación espacial influenciaron el comportamiento de viaje (o bien la movilidad) en Holanda, con algunas limitaciones y con algunos impactos no esperados.

Con respecto a los viajes no motorizados, [Pucher et al. \(2010\)](#) resumen los diferentes impactos de distintas intervenciones políticas sobre el ciclismo, a lo largo del mundo. Una de sus conclusiones es que para obtener incrementos sustanciales en el uso de la bicicleta es necesario integrar en un mismo paquete diferentes y complementarias intervenciones. Incluyendo, entre ellas, la provisión de infraestructura, programas para promocionar su uso, planificación del uso del suelo y restricciones al uso del vehículo privado. [Cervero et al. \(2009\)](#) analizan el caso de la ciudad de Bogotá. La densidad poblacional y el uso mixto del suelo, según dicho estudio, no resultaron determinantes de la elección modal. Sin embargo, dichos autores concluyen que específicamente la

²La política *A-B-C* tenía como fin canalizar la ubicación de las empresas, es decir, los centros de empleo, hacia nodos en los que haya buenos servicios de transporte público. Explícitamente buscaba promover el transporte público junto con ir a pie o en bicicleta. Según esta política, las empresas con muchos empleados por metro cuadrado deberían ubicarse cerca de los puntos nodales del transporte público, mientras que las empresas que no tienen muchos empleados y generan mucho transporte de mercancías por carretera deberían ubicarse cerca de las salidas / puntos de acceso de las autopistas ([Dargay y Hanly 2004](#)).

configuración, diseño de las calles y buena conectividad de rutas para ciclismo aumentarían los viajes no motorizados.

[Banister \(2008\)](#) sugiere cuatro principios claves que deberían considerarse en forma combinada en las medidas políticas sobre movilidad: i) hacer el mejor uso de la tecnología, ii) internalizar los costos externos del transporte, iii) integrar el desarrollo del uso del suelo que determina el entorno construido, la forma y estructura urbana, incluyendo la planificación y las reglamentaciones (como las de ordenamiento territorial), e iv) involucrar a las personas a través de información y aceptabilidad de las políticas y la problemática.

Dentro de las políticas urbanas de movilidad sustentable de Montevideo, se encuentra el Plan de Movilidad de Montevideo, de 2005. La postura de este plan es aumentar la cantidad de viajes colectivos en transporte público para contribuir a disminuir las emisiones. Por otro lado se propone exigir el uso de flotas con mayor eficiencia energética ([Abreu y Vespa, 2010](#)).

Las intervenciones urbanas, las intervenciones sociales, tienen la particularidad de que si son grandes generan impactos y efectos no previstos, es así que generalmente pequeñas intervenciones producen mejores resultados. Desde el enfoque de sistemas complejos, una de las diferencias que [Batty \(2013\)](#) menciona para comprender su aporte como una nueva ciencia de las ciudades es que la estrategia de análisis es bottom-up en vez de top-down. Esto es en vez de partir de un resumen del sistema complejo y luego ir definiendo el detalle de las partes, partir desde el detalle de las partes para generar el sistema. Dicha visión genera consecuencias directas en la planificación y diseño de las ciudades, ya que: pequeñas intervenciones son más probables de tener éxito que masivos planes top-down.

[Kenworthy \(2006\)](#) diseña un marco conceptual que denomina "Tecnologías sustentables, economía y diseño urbano". Sugiere que el corazón de una ciudad ecológica se encuentra en un transporte y forma urbana sustentable. Establece que una cuestión importante en las políticas urbanas y es el proceso de toma de decisiones. [Kenworthy \(2006\)](#) plantea que es recomendable debatir y decidir las políticas de planificación, preguntarse que tipo de ciudad se quiere para el futuro.

La revisión de los estudios aplicados revisados apoyan la hipótesis de que el entorno construido, a escala local, influencia las decisiones de movilidad y especialmente la elección modal. Hipótesis que será contrastada para el caso de la ciudad de Montevideo.

Capítulo 3

Marco teórico

El objetivo del presente capítulo es presentar los lineamientos teóricos que permiten conceptualizar el problema de estudio y definir hipótesis de partida. Se encuentra dividido en las siguientes partes: i) una introducción del marco teórico, para comprender el enfoque de la movilidad urbana presentado, ii) el enfoque general de análisis de la movilidad y iii) el comportamiento de viaje sobre la elección modal.

3.1. Movilidad, sustentabilidad y complejidad

La movilidad sustentable representa un paradigma complementario para situar la complejidad de la movilidad cotidiana en las ciudades ([Banister 2008](#)). Dicho paradigma se enmarca dentro de la concepción de desarrollo sostenible en la medida de que la movilidad en un sistema, que no considere las externalidades negativas, impone detrimentos a la calidad de vida y salud de la población en tanto el medioambiente se vea afectado dentro de sus límites de asimilación.

[Kenworthy \(2009\)](#) sugiere que el corazón de una ciudad sustentable se encuentra en la forma urbana y el sistema de transporte. Para [Banister \(2008\)](#) una ciudad sustentable necesita balancear las dimensiones físicas y las necesidades sociales. La movilidad se ha convertido, de este modo, no sólo en una necesidad local sino en un desafío global de las ciudades, por ejemplo en el marco de los desafíos del cambio climático.

El paradigma de la movilidad sustentable, frente al convencional, pretende cambiar el enfoque, y centrarse en las personas, en vez de en el tráfico o

transporte. Dicha modificación de enfoque va en línea con el cambio en las dimensiones como factores de análisis y objetivos, y con la preva- lencia de la dimensión social sobre la dimensión física. De este modo, la calle no es vista sólo como un camino sino como un espacio, habitado por personas y objetos. Bajo la misma noción no se pretende segregar personas y tráfico sino que por el contrario integrarlos. El tráfico deja de tener un rol importante, dando lugar a una visión más amplia sobre las ciudades que nace desde la escala local (véase la tabla 3.1). Este paradigma se sustenta en la concepción de que la movilidad determina condiciones de bienestar social y desarrollo económico, aboga por distintas políticas que estimulan el cambio modal, reduzcan la necesidad de viajar, las distancias y mejoren la eficiencia y calidad de los medios de transporte (Chapman 2007).

Tabla 3.1

Paradigma Movilidad Sustentable

Enfoque convencional	Enfoque alternativo – movilidad sustentable
Dimensiones físicas	Dimensiones sociales
Movilidad	Accesibilidad
Foco en el tráfico	Foco en las personas
A gran escala	Escala local
La calle como un camino	La calle como espacio
Transporte motorizado	Todos los modos de transporte a menudo en una jerarquía con ciclistas y transeúntes en la cima y los usuarios de vehículos al final.
Previsión del tráfico	Visión sobre las ciudades
Enfoques de modelado	Desarrollo de escenarios y modelado
Evaluación Económica	Análisis multicriterio para tomar en cuenta aspectos medioambientales y sociales
Viajes como demanda derivada	Viajes como una actividad valorada, así como una demanda derivada.
Basado en la demanda	Basado en la gestión
Acelerar el tráfico	Ralentizando el movimiento hacia abajo
Minimización del tiempo de viaje	Tiempos de viajes razonables y fiables
Segregación de personas y tráfico	Integración de personas y tráfico

Fuente: Banister (2008).

Con la anterior perspectiva es que, el concepto de movilidad sostenible más

allá de tener una noción relacionada a minimizar los costos negativos sobre el entorno y la calidad de vida de las personas, es un concepto que se construye en la práctica y en la gobernanza. Encierra dos recursos escasos, la energía y la tierra y conlleva distintos conflictos entre externalidades y necesidades. El primero de ellos refiere al consumo del espacio y de la energía, en segundo a las dimensiones sociales como exclusión y calidad de vida, y el tercero a las externalidades como ser contaminación, ruido, accidentes, congestión, etc.

La planificación de la ciudad puede tener un rol importante en la generación de formas urbanas que incentiven el uso de transporte público y no motorizado en vez del vehículo privado (Krizek 2003; Banister 2008; Van Acker et al. 2010; Ewing y Cervero 2010). Ello encierra detrás un modelo de desarrollo, que de acuerdo con Banister (2008) requiere de un pensamiento innovador acerca de la proyección de la ciudad en el futuro y del rol que el transporte juega. Además implica comprender la complejidad de las ciudades, en el sentido de que la multidimensionalidad de factores, actores e interrelaciones genera cierta dificultad de predecir los efectos de intervenciones o políticas públicas.

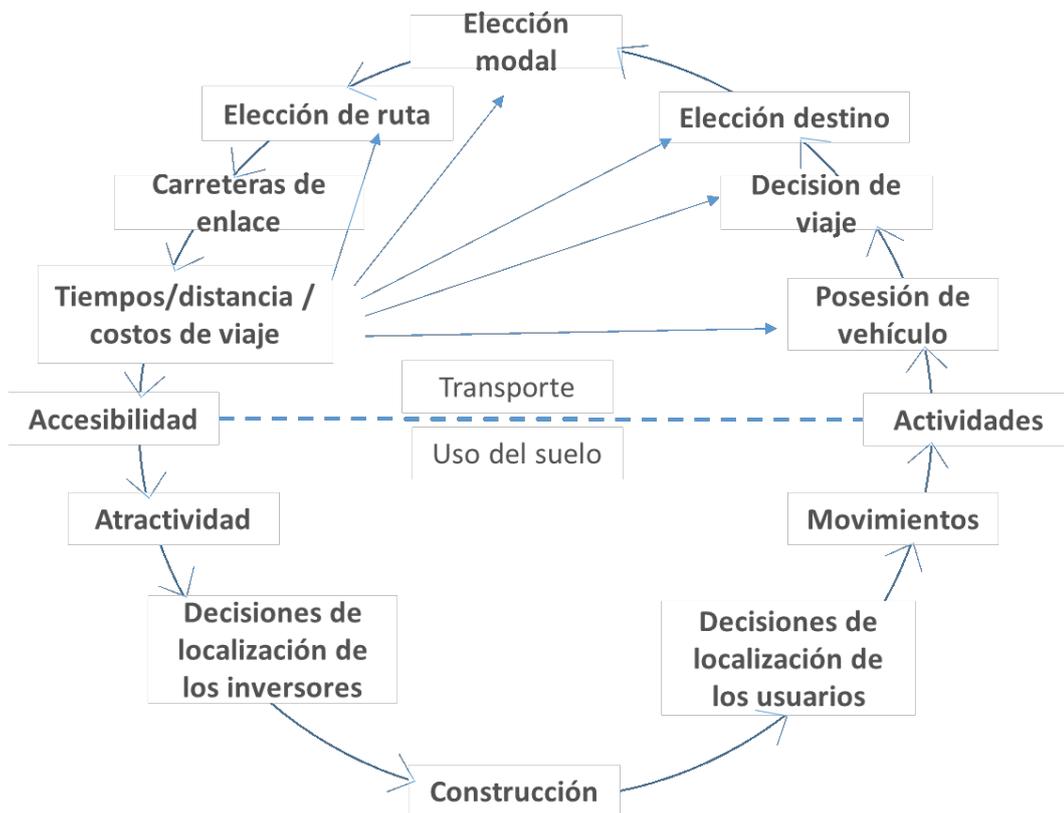
En lo que refiere a la movilidad cotidiana, para encontrar formas de incentivar el uso del transporte público y los modos no motorizados es crucial comprender la toma de decisiones de los ciudadanos respecto al modo de viaje y si las formas urbanas influyen dichas decisiones. He aquí la hipótesis de partida ya mencionada: las decisiones de movilidad de las personas se encuentran influenciadas por el entorno construido, como por ejemplo el uso del suelo.

3.2. Enfoque de decisiones jerárquicas

En primer lugar, es necesario indicar que el problema que se pretende abordar se introduce principalmente entre dos enfoques interrelacionados y superpuestos: los que intentan explicar los desencadenantes de la movilidad de los individuos, y los enfoques que intentan explicar las teorías de localización residencial y de uso del suelo. Existen estudios empíricos y teóricos que fundamentan la idea de que las diferencias observadas en los comportamientos de los viajeros, entre dos barrios distintos, puede deberse a una cuestión de elección residencial más que a una cuestión de viaje (Mokhtarian y Cao 2008), es decir, a un efecto de auto-selección. Ello implica que los individuos eligen la zona de residencia basado en sus actitudes de viaje. Los enfoques basados

en las actitudes de viaje se apoyan, básicamente, sobre dos teorías de comportamiento provenientes de la psicología social: la teoría del comportamiento planificado (Ajzen 1991) y el modelo de activación de normas de Schwartz (Schwartz 1977).

Van Acker et al. (2010) sostienen que los patrones de viaje son resultado de una estructura de decisión jerárquica, que va desde las decisiones diarias a las decisiones del estilo de vida. Dicha estructura jerárquica comprende el comportamiento de viaje, el de la actividad, el de la localización y el del estilo de vida. El comportamiento de viaje es lo que Wegener (1995) llama procesos de cambio inmediato. Justamente el presente trabajo se centra en el comportamiento de viaje de corto plazo que se denomina movilidad cotidiana.



Fuente: Wegener (1995).

Figura 3.1. Ciclo de retroalimentación transporte-uso del suelo. Esta figura provee un esquema conceptual de la relación entre el uso del suelo y el transporte. Dentro de las actividades involucradas al transporte se encuentran la posesión de vehículo, la decisión de viaje, la decisión de destino, modo y ruta, los costos del viaje.

Las decisiones de viaje y de localización representan procesos con distintas velocidades de cambio (Wegener 1995, 2004). El ciclo de retroalimentación de

transporte y uso de suelo, presentado en la figura 3.1, permite visualizar la complejidad de las interrelaciones en el tiempo y en el espacio. En este diagrama se pueden distinguir diferentes subsistemas según su velocidad de cambio en el tiempo. La infraestructura, redes de transporte y uso del suelo presentan patrones de cambio muy lento, porque consideran decisiones de producción de largo plazo. Las viviendas y espacios no residenciales presentan patrones ligeramente menos lentos pues permanecen más allá que donde los hogares deciden residir. La distribución de la población y del empleo, sin embargo, son procesos de rápido cambio, mientras que los bienes de transporte y los viajes presentan un cambio inmediato. Por consiguiente, es posible establecer que las decisiones de localización son de largo plazo y las decisiones de movilidad son de corto plazo.

De acuerdo con Wegener (1995) se puede argumentar que las decisiones de localización residencial se realizaron en un momento anterior que las decisiones de destino, que origina la movilidad urbana. De este modo, las características de las zonas de residencia se toman como dadas (exógenas), representando una restricción que afecta los patrones de movilidad urbana. Esta perspectiva encierra una noción de equilibrio, que bien define Batty (2013) en términos de cambios rápidos y lentos sobre los sistemas urbanos. Permite distinguir entre trabajos e investigaciones con foco en lo dinámico o en la estática comparativa. En el corto plazo, la infraestructura, redes de transporte y entorno construido se encuentran dados, están en algún tipo de equilibrio de corto plazo. Así también, los componentes demográficos y socioeconómicos de una ciudad. Mientras que la movilidad está en continuo cambio, es un flujo. Shif-tan y Ben-Akiva (2011), desde el enfoque basado en las actividades, también soslayan el hecho de que existen distintos niveles de decisiones. Mientras el uso del suelo y la tenencia de vehículo son decisiones de alto nivel, la elección de la ruta y el parking son decisiones de todos los días.

El enfoque de Wegener (1995) se complementa con el marco teórico propuesto por Van Acker et al. (2010), que busca avanzar en la conjunción de los distintos enfoques y teorías para explicar el comportamiento de viaje. Los autores logran complementar el enfoque de elección discreta Ewing y Cervero (2001) con la teoría del comportamiento planificado, la teoría de Hägerstrand (1970) de tiempos y espacio, y el enfoque basado en las actividades.

Los defensores del enfoque de la restricción proponen que la actividad y los viajes están limitadas por el espacio, el tiempo y el contexto institucional.

La geografía del tiempo de Hägerstrand (1970)¹ demostró que tanto el espacio como el tiempo son recursos escasos y limitan los patrones de actividad diaria. Estas limitaciones incluyen la cantidad de viajes necesarios, las distancias factibles que pueden cubrirse e incluso la posibilidad de participar en actividades (Kraan 1997).

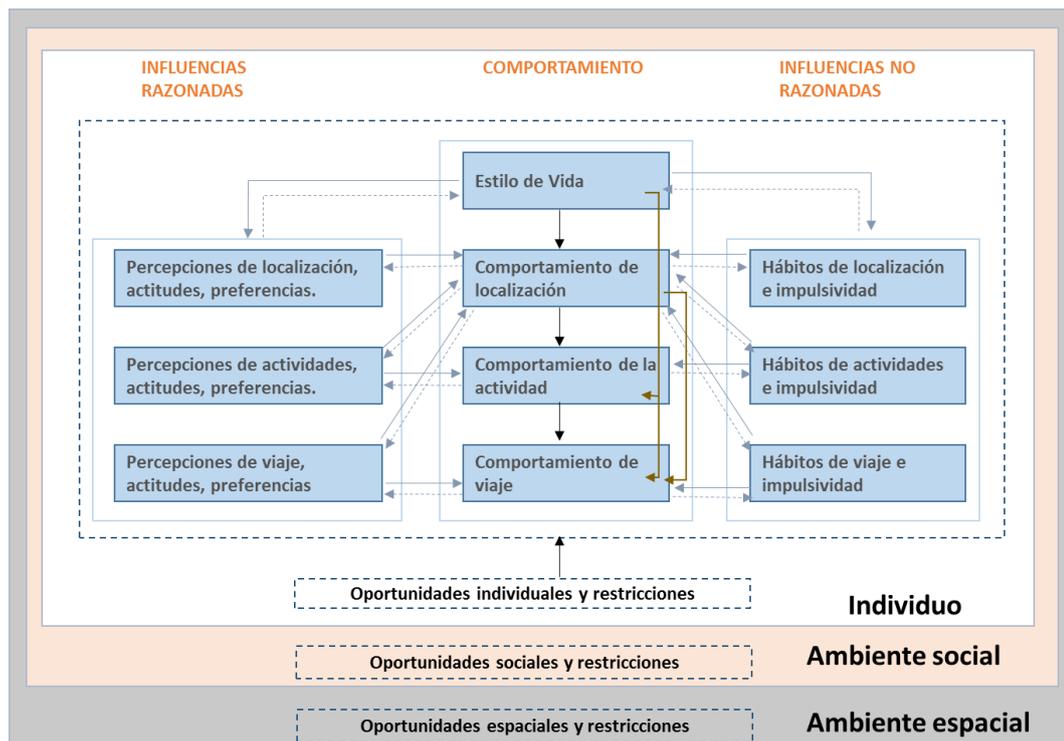


Figura 3.2. Modelo Conceptual del comportamiento de viaje. El comportamiento de viaje está enmarcado dentro de un conjunto de decisiones jerárquicas: el estilo general de vida, las decisiones de localización, las decisiones de actividad, y en último lugar se desprenden las decisiones del comportamiento de viaje. Además de la dimensión del individuo existe: el ambiente social y el ambiente espacial, que implican distintas oportunidades y restricciones de movilidad. A su vez cada uno de los niveles de jerarquía se determina por dos tipos de influencias psicológicas individuales: las razonadas, que tienen que ver con las preferencias, y las no razonadas, que se manifiestan en los hábitos y actitudes. Fuente: Van Acker et al. (2010).

La figura 3.2, que presenta la estructura jerárquica planteada por Van Acker et al. (2010), brinda una idea global del enfoque teórico general de este trabajo. En la misma se presenta el esquema de las relaciones entre los componentes de esta estructura, así como las influencias razonadas y no razonadas

¹Hägerstrand (1970) define tres tipos de restricciones: de capacidad, de acoplamiento y de autoridad. Estas restricciones se refieren a la cantidad de tiempo físico en un día y el tiempo requerido para el cuidado personal, comer y dormir, y la necesidad de realizar algunas actividades, tales como el trabajo, en un lugar fijo, en un momento determinado y durante un tiempo determinado.

que afectan a dichos componentes, y las restricciones de carácter individual, social y espacial (que también pueden ser interpretadas como oportunidades). Las restricciones espaciales del marco de [Van Acker et al. \(2010\)](#) provienen del enfoque geográfico del espacio-tiempo ([Hägerstrand 1970](#); [Lenntorp 1976, 1977](#)). Un entorno espacial que proporciona una alta accesibilidad a las instalaciones puede aumentar la participación de las personas en las actividades. En dicho marco el entorno construido se debe comprender como el ambiente espacial y el ambiente social, en términos de oportunidades y restricciones.

Siendo el eje central de análisis en esta investigación la movilidad cotidiana, se extrae de dicho modelo conceptual las relaciones intervinientes en el comportamiento de viaje. Esto es: las restricciones (individuales, sociales y espaciales) que afectan el comportamiento de viaje, las influencias (percepciones de viaje, actitudes, preferencias, hábitos de viaje e impulsividad), las decisiones de localización y las decisiones de las actividades, así como el estilo de vida. Por ende, no es objeto del presente trabajo determinar el comportamiento en las actividades, localizaciones ni los estilos de vida. Si bien el enfoque basado en las actividades está por detrás del motivo real que lleva a las personas a movilizarse, el foco de análisis no está en entender el desarrollo de las actividades, sino las elecciones del modo de viaje una vez que las actividades ya han sido determinadas por el individuo. A su vez, si bien el contexto social puede (o bien es) ser un factor importante que explica determinadas decisiones de viaje, no es parte de los objetivos del presente trabajo encontrar explicaciones sobre los efectos del contexto social en las decisiones de viaje.

La pregunta de interés es la relación entre medio ambiente construido y elección del modo de transporte (como una de las elecciones de la movilidad cotidiana). Para conceptualizar esta relación será preciso, en un primer lugar, encontrar explicaciones sobre los factores de comportamiento que determinan la movilidad y especialmente la elección modal. En segundo término es preciso comprender el concepto de entorno construido. Finalmente, se deben analizar las distintas respuestas teóricas a la relación entre entorno construido y movilidad, y específicamente a la elección del modo de transporte.

3.3. Movilidad cotidiana y la elección modal

En la sección anterior se presentó el modelo conceptual general de decisiones jerárquicas en el que se enmarca la movilidad y el comportamiento de viaje.

En las secciones que siguen, yendo de lo general a lo particular, se propone identificar los lineamientos teóricos de la elección modal y su relación con el entorno construido. Como se mencionó anteriormente, la sección se organiza en tres partes, primero se sitúan los enfoques teóricos del comportamiento de la elección modal, segundo se profundizan las nociones de entorno construido de las ciudades, y por último, se discute acerca de las relaciones entre la elección modal y el entorno urbano construido.

3.3.1. Comportamiento de viaje

Desde un enfoque basado en el individuo, los principales y primeros modelos predictivos sobre el comportamiento de viaje son los modelos de elección discreta (McFadden 1976, 1974; Ben-Akiva et al. 2002b), desarrollados sobre la base de la teoría de la utilidad esperada. Esta teoría establece que el individuo elige la alternativa que maximiza su utilidad esperada. Diversos enfoques han debatido dichos modelos y al tiempo que otros han agregado diversas flexibilizaciones, como los modelos de elección híbridos (Ben-Akiva et al. 2002a).

Una de las teorías que enriqueció y modificó al análisis sobre el comportamiento de viaje basado en la utilidad esperada es el enfoque basado en las actividades. Éste parte de la base de que para entender el comportamiento de viaje hay que comprender las características espaciales y temporales de las actividades que realizan las personas. Dicho enfoque emergió en los setenta a partir de las contribuciones de Hägerstrand (1970), Chapin (1974) y Cullen y Godson (1975). Ha continuado progresando, por ejemplo agregando interacciones entre miembros del hogar y la comunidad desde la perspectiva de que ciertas actividades se realizan en compañía o en conjunto. De esta forma hay trabajos que se enfocan en los viajes por trabajo, otros en los viajes por ocio, otros en los viajes por compras. El atractivo del enfoque basado en la actividad es que lo que lleva a las personas a viajar es el deseo o necesidad de participar en diversas actividades (Bhat y Koppelman 1999).

En línea con Van Acker et al. (2010), los factores que determinan los patrones de movilidad pueden separarse entre aquellos internos al individuo, a sus condiciones psicológicas y sociodemográficas, y aquellos externos al individuo que se manifiestan como una restricción o una oportunidad para el mismo. En la misma línea, Curtis y Perkins (2006) dividen los trabajos de investigación referidos al comportamiento de viaje en dos grupos: los que analizan el im-

pacto de la forma urbana en el comportamiento de viaje y los que analizan el impacto de los factores sociodemográfico y/o de estilo de vida. De esta forma, realizan una primera categorización de productos de investigación, puesto que naturalmente existen trabajos que toman los dos tipos de impacto.

Los aportes a la comprensión del comportamiento de viaje de otras disciplinas, además de la economía y la geografía, han llevado a ampliar los esfuerzos desde los modelos de elección discreta. Los modelos de elección discreta no sólo se adaptaron a los aportes desde el enfoque basado en las actividades, sino también a enfoques desde la psicología social. En ese sentido, [Van Acker et al. \(2010\)](#) configuran un marco teórico que toma en cuenta las influencias no razonadas de los individuos, además de las razonadas². Los modelos de elección discreta se han adaptado para incluir las actitudes y percepciones como variables latentes ([Ben-Akiva et al. 2002b](#)). A partir de considerar que el comportamiento de viaje se encuentra influido por las percepciones y actitudes, como se fundamenta a través de teorías de la psicología social y ambiental, como son la teoría de la acción razonada (TRA, [Fishbein y Ajzen \(1977\)](#)), modelo de activación de la norma ([Schwartz 1977](#)), entre otros. Los mismos permiten ampliar la simple separación entre los factores internos al individuo y los factores externos al individuo, pues los factores cognitivos que influyen el comportamiento (y la elección modal) incluyen las percepciones del individuo sobre el entorno construido ([Spears et al. 2013](#)).

Por otro lado, dentro de los factores sociodemográficos, la cuestión de género también se introduce en los patrones de movilidad. Los hombres y las mujeres presentan diferentes características que según [Van Acker et al. \(2010\)](#) provienen de dos componentes, uno socioeconómico y otro conductual determinado por los hábitos y actitudes de las personas. La seguridad es un factor importante en las decisiones de movilidad de la mujer, por ejemplo en qué horarios elegiría ir caminando o en bicicleta frente a la posibilidad de ir en ómnibus. Pero más allá de ello [Hanson \(2010\)](#) expresa que la mujer conlleva una movilidad “más sustentable” que el hombre: realiza viajes de distancias más cortas, utiliza el vehículo menos que el hombre y utiliza más el transporte público. Una sustentabilidad que se encuentra asentada sobre una inequidad en el acceso a los diferentes modos de transporte.

²En cuanto a lo que [Van Acker et al. \(2010\)](#) mencionan como influencias razonadas y no razonadas, el presente análisis tendrá en cuenta las influencias razonadas, no porque se considere que los hábitos y los impulsos, así como las actitudes y percepciones, no formen parte del proceso de decisión de viaje sino porque por el alcance de la presente investigación.

El comportamiento de viaje (o de desplazamiento) de un individuo puede tener diferencias respecto a los distintos modos de transporte, es decir, distintos elementos afectarán las decisiones de ir a pie que de ir en vehículo. Por ejemplo, las personas pueden optar por viajes no motorizados (a pie o bicicleta) para realizar al mismo tiempo ejercicio físico. La teoría de la utilidad esperada se conjuga en este punto con las teorías sobre el comportamiento saludable en las que el comportamiento es además influenciado por factores a distintos niveles, como el individual, interpersonal y medioambiental. Respecto a los viajes a pie o en bicicleta pueden ser realizados por placer-recreación-ejercicio, fines profesionales, o por desplazarse.

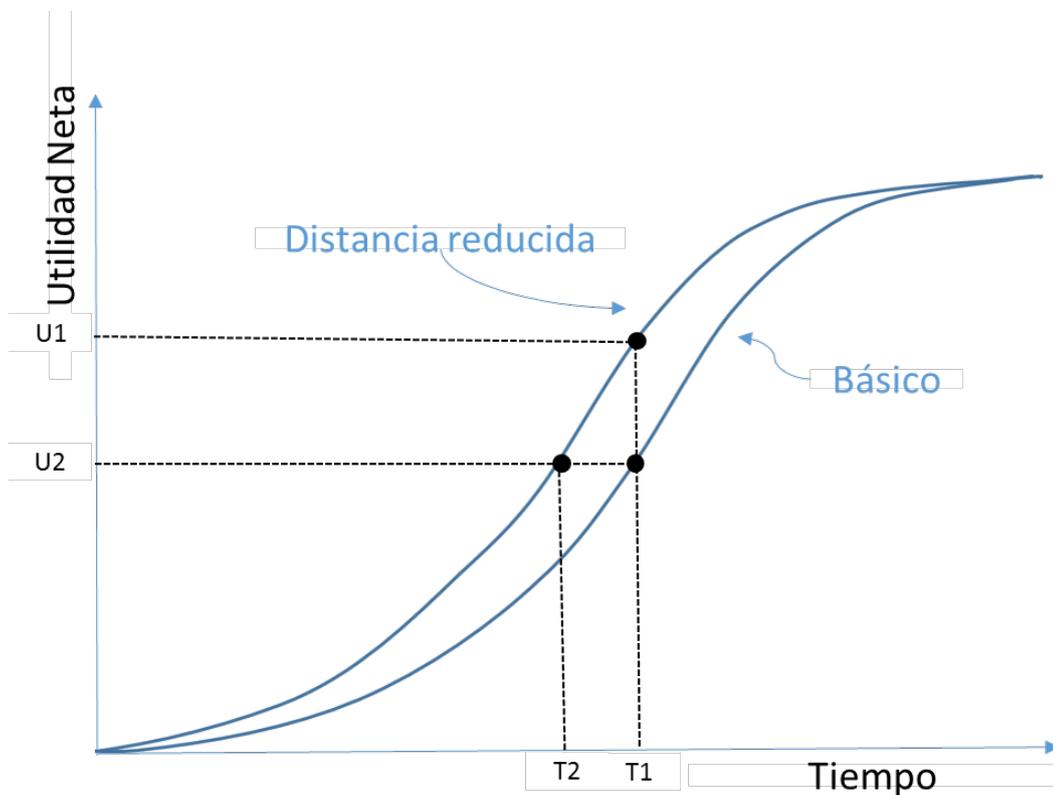


Figura 3.3. Efectos estilizados de los cambios en el tiempo de viaje. Se ilustra la relación entre la utilidad de viajar y el tiempo de viaje. La misma es creciente a tasa decreciente. Se contrasta la utilidad de un vehículo de distancia reducida contra uno que no la tiene, para obtener la misma utilidad U_2 es necesario viajar T_2 unidades de tiempo en el caso de velocidad reducida mientras que es preciso viajar T_1 unidades en el caso básico. De la misma manera al viajar T_1 unidades de tiempo en el vehículo de distancia reducida reporta mayor utilidad a la persona U_1

Dentro de los modelos de elección discreta [Maat et al. \(2005\)](#) y [Maat y Maat \(2009\)](#) enfatizan sobre las respuestas conductuales a los cambios en el tiempo

de viaje. Lo representan a través de la utilidad neta como función del tiempo de viaje, tal como se muestra en la figura 3.3. La utilidad neta incluye todos los beneficios que las personas obtienen del desarrollo de actividades, mientras que el tiempo de viaje se introduce como la desutilidad ³. Se supone que la utilidad aumenta con el tiempo de viaje de forma decreciente, es decir, cuanto más viaja mayores oportunidades alcanza pero los beneficios adicionales de viajar más tiempo podrían estar sujetos a la ley de rendimientos decrecientes.

El tiempo de viaje depende, a su vez, de la distancia y velocidad de viaje. Es posible argumentar que la distancia de viaje modifica el costo relativo de cada modo de viaje, y ello influencia en su elección.⁴ La figura 3.3 (Maat et al. 2005) ilustra las consecuencias de los cambios en la distancia y velocidad de viaje sobre la relación entre la utilidad y el tiempo de viaje. Para un mismo tiempo de viaje ($T1$ de la figura), una distancia reducida producirá mayor utilidad ($U1$ vs $U2$), mientras que se asume la misma utilidad ($U2$) distancias más cortas requerirán menos tiempo de viaje ($T2$). En el mismo sentido, Schafer y Victor (2000) esperan que los modos de baja velocidad declinen en un futuro distante.

Maat et al. (2005) formalizan en la figura 3.4 que la distancia de viaje puede modificar el costo relativo de cada modo influenciando la elección modal. En la figura puede observarse la relación entre la utilidad y el tiempo de viaje para distintos modos de transporte. En el caso de los peatones tienen una velocidad promedio baja y constante, apenas generan acciones iniciales y el máximo de tiempo de viaje es limitado debido al esfuerzo físico. Comparando con la bicicleta, con la misma se obtiene mayor utilidad en el mismo tiempo de viaje, ya que alcanza velocidades más altas que el peatón. En el caso del vehículo la utilidad tiene una forma de S . Sobre la base del tiempo de viaje, la utilidad máxima para peatones y ciclistas se alcanza en los momentos $T1$ y $T2$, respectivamente.

³Se asume que la desutilidad es causada por el tiempo de viaje, aunque ello no significa que no se reconozcan otros tipos de desutilidades asociadas con los distintos modos, como ser costos monetarios, confort, etc. (Maat et al. 2005; Maat y Maat 2009).

⁴Por ejemplo, Hunt y Abraham (2007) encuentran que distancias de viaje que representen mayor tiempo de viaje tienen un significativo efecto negativo sobre la atracción de la bicicleta como medio de transporte. Modos de viaje que en el mismo tiempo aumenten la distancia recorrida estarían incrementando la utilidad. Ello podría explicar el aumento del parque automotor, la creciente velocidad que alcanzan los vehículos que posibilitan aumentar la distancia recorrida en menos tiempo o bien disminuir el tiempo de viaje para la misma distancia.

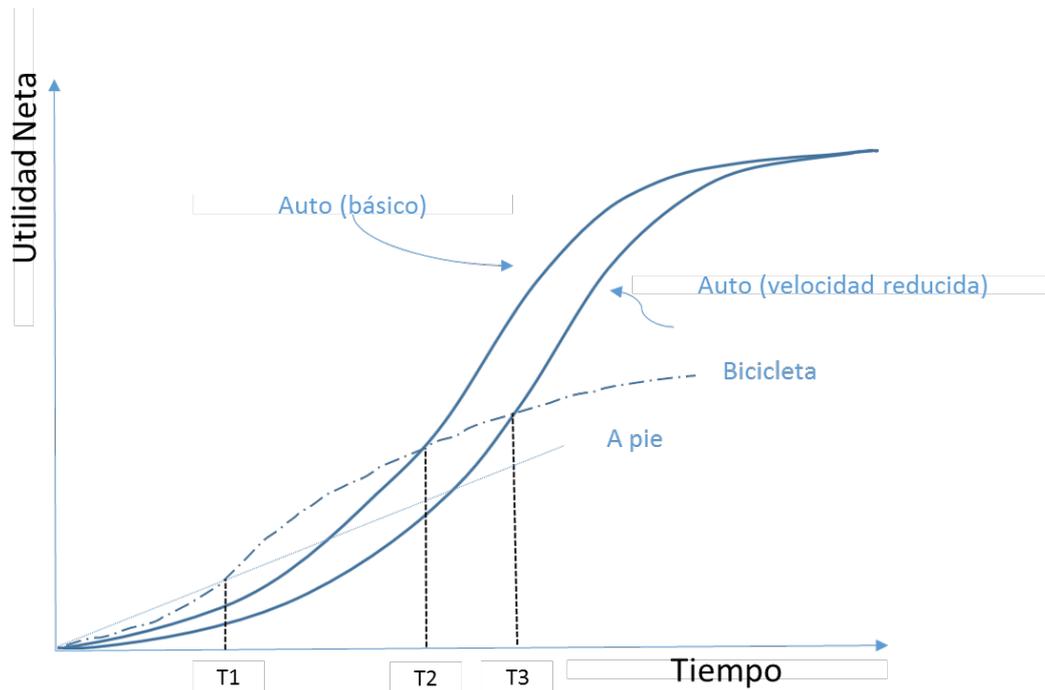


Figura 3.4. Efectos estilizados del cambio modal. La figura presenta el efecto en la utilidad de los diferentes modos de viaje (a pie, bicicleta, auto básico y auto con velocidad reducida), según el tiempo de viaje. En $T1$ la utilidad que reporta ir a pie es igual a la utilidad de ir en bicicleta, en $T2$ la utilidad de ir en bicicleta es igual a la del auto, mientras que en $T3$ la utilidad de ir en bicicleta es igual a ir en auto de menor velocidad

3.3.2. Entorno construido

Rapoport (2016) introduce su libro “Human aspects of urban form: towards a man—environment approach to urban form and design” mencionando que hay tres preguntas generales que establecen las bases de una sistemática contribución de las ciencias humanas al diseño, una de ellas plantea la siguiente cuestión: ¿cómo y en qué medida el entorno físico afecta a las personas, es decir, qué tan importante es el entorno diseñado y en qué contextos? (Gordon (1979) y Esber (1982)). Esta interrogante plasma una preocupación concreta acerca de la naturaleza y alcance de la determinación del comportamiento humano por su entorno diseñado y construido. En la misma línea que Rapoport (2016) las motivaciones del presente trabajo nacen desde la necesidad de comprender de que forma el entorno construido afecta el comportamiento de viaje.

Shove (2010) pone de relieve la importancia de las ciencias sociales en el éxito de las políticas de cambio climático, argumenta sobre la necesidad de comprender el comportamiento de las personas. Debido a que el mismo es producto de la interacción entre variables de actitud de la esfera personal y factores

contextuales. La lista de factores contextuales es extensa. Uno de los que ha recibido interés en la investigación empírica es el efecto del entorno construido sobre el comportamiento de viaje diario, entendiendo que éste es parte de las políticas urbanas, de desarrollo, planificación y ordenamiento territorial, así como es producto del mercado y de las interacciones sociales.

De acuerdo a [Saelens y Handy \(2008\)](#) existen distintas definiciones de medio ambiente construido o entorno construido. Dichos autores toman la sencilla definición que establece que el entorno construido es la parte del medio ambiente físico construido por el hombre. El entorno construido, a alguna escala espacial, está compuesto por una serie de objetos que tienen algún tipo de valor y en donde, o a través de los cuales las personas desarrollan distintas actividades. Se encuentra diferenciado y distribuido espacialmente en relación a alguna regla.

Es necesario distinguir las distintas escalas del entorno construido, las escalas regionales y escalas locales. Las políticas europeas de ciudades compactas se enfocan en una escala regional, mientras que por el contrario los diseños amigables a la bicicleta constituyen políticas de escala local o barrial ([Maat et al. 2005](#)). La escala juega un rol en la definición del entorno construido, puesto que a cada escala espacial hay características más relevantes que otras. La elección de la escala de análisis depende del problema a analizar; en el presente trabajo de investigación será local o bien barrial, siendo la unidad de análisis las zonas de residencia. Si bien este criterio puede ser cuestionable (ya que se podrían elegir tanto las zonas de origen como las de destinos), en este trabajo se sigue a [Gonzalez et al. \(2008\)](#). Estos autores establecen diferencias en la importancia de las locaciones para los individuos. Las trayectorias humanas tienen un alto grado de regularidad espacial y temporal, siendo la casa y el trabajo las locaciones donde mayormente se encuentran y desde donde mayormente se originan los viajes. Por otro lado, la localización del hogar es una decisión realizada por el individuo, lo cual no es el caso del lugar de trabajo.

En el modelo conceptual de [Van Acker et al. \(2010\)](#) (figura 3.2) el entorno construido se inscribe dentro de lo que ellos definen como interdependencias, oportunidades y restricciones sociales y espaciales. Las teorías que sustentan la influencia de dichos factores externos (como el uso del suelo) son las provenientes de la geografía del transporte y en base a ello las actividades diarias, como las decisiones de movilidad, están relacionadas con las decisiones tomadas por la sociedad acerca de cómo usar el suelo y las localidades.

El uso del suelo comprende dos elementos: la naturaleza del uso del suelo y el nivel espacial de acumulación. La primera refiere a las actividades que se realizan en el lugar, y la segunda a su intensidad y concentración. Las actividades económicas tienen lugar en localizaciones específicas, los patrones de comportamiento de los distintos agentes económicos están impresos en el suelo. La representación de ello requiere una tipología del uso del suelo, [Rodríguez et al. \(2009\)](#) presenta dos: 1) uso formal del suelo, que concierne a los atributos cualitativos del espacio como forma y aspecto; 2) uso funcional del suelo, que concierne a la naturaleza económica de las actividades, y son principalmente una descripción socio-económica del espacio.

El presente trabajo se enfoca en el uso funcional del suelo, y la distribución de actividades económicas en el mismo. Debido a que, de acuerdo con [Rodrigue et al. \(2013\)](#), la demanda de movilidad se genera por la diversidad de actividades urbanas en una diversidad de contextos urbanos. Asimismo el uso del suelo, además de estar relacionado con la movilidad, implica relaciones con otros agentes y objetos.⁵

Para [Saelens y Handy \(2008\)](#) además del uso del suelo, son elementos del entorno construido la distribución de actividades en el espacio y de los edificios y casas, la infraestructura y sistema de transporte, carriles para bicicletas, las veredas y espacios para caminar, el diseño urbano, así como el arreglo de los elementos físicos. [Cervero y Kockelman \(1997\)](#) Cervero y Kockelman (1997) lo resumen en lo que llaman las 3 D: densidad, diversidad y diseño. El uso del suelo está vinculado a la densidad que se mide como la variable de interés por determinada unidad de área (kilómetros cuadrados por ejemplo), la variable puede ser población, empleo, área de construcción, etc. El diseño del entorno construido incluye el de las veredas, espacios verdes, espacios para caminar, los carriles de bicicletas, las paradas de ómnibus, etc. Mientras que la diversidad hace referencia a la diversidad de usos del suelo. Referente al entorno construido local las variables elegidas para caracterizarlo son generalmente intensidad, balance e integración del uso del suelo. [Kockelman \(1997\)](#) menciona como indicadores la densidad, accesibilidad, entropía y el índice de disimilaridad.

⁵[Batty \(2013\)](#) resalta la importancia del uso del suelo como política de desarrollo, el que se encuentra relacionado también a las problemáticas de pobreza, vivienda, educación, salud, además de la movilidad. Ello se debe a que el uso del suelo configura, en parte, el entorno construido.

3.3.3. Entorno construido y elección modal

La influencia del entorno construido como parte de la forma de la ciudad en el transporte es difícil de establecer teórica y empíricamente debido a los diferentes contextos empíricos, escala geográfica, efectos de auto selección residencial y a las distintas metodologías. Para [Bhat y Guo \(2007\)](#) la relación entre el entorno construido y el comportamiento de viaje es de naturaleza compleja debido a la multidimensionalidad de los dos fenómenos. Existen distintos aspectos y escalas del entorno construido, y al mismo tiempo distintas dimensiones y características de la movilidad y del comportamiento de viaje. A su vez las características del entorno construido y de la movilidad están ambas relacionadas con las actividades que se desarrollan en el entorno urbano. Dichos autores argumentan que las investigaciones que, con el objetivo de simplificar el problema e ir obteniendo resultados empíricos, se enfocan en determinados aspectos tanto del entorno construido como de la movilidad presentan una imagen limitada de todas las interacciones que pueden tener impacto en la movilidad. Es necesario, entonces, admitir que el presente trabajo representa una imagen limitada de todas las interacciones que pueden afectar la movilidad cotidiana. [Cervero \(2013\)](#) advierte de la necesidad de contextualizar las investigaciones en dicha relación, pues los desafíos de movilidad de los países en desarrollo son bien diferentes de los de los países más desarrollados. Paralelamente, los desarrollos teóricos y empíricos con foco en las realidades latinoamericanas son insuficientes.

Gran parte de los estudios que analizan la relación entre el medio ambiente construido y el comportamiento de viaje o bien han buscado respuestas a las implicancias para el uso del automóvil o a las implicancias sobre los viajes a pie y en bicicleta. Un enfoque por el lado de la reducción de los viajes en automóvil privado y otro por el lado del aumento de los modos que implican actividad física, y por ende afectan la salud de los individuos. La reducción de los viajes en automóvil privado puede derivarse de la disminución de los viajes en general, o bien por el cambio hacia el uso de algún otro modo de transporte, público o a pie/bicicleta. El transporte público es principalmente un modo competitivo del vehículo, y cumple un rol social y económico en cuanto a la accesibilidad que facilita a la población en general. Mientras que el aumento de los viajes a pie o en bicicleta pueden derivarse de un cambio modal o bien de un cambio de hábitos en la ejercitación física de una persona.

Los modelos buscan explorar el nivel de asociación entre las distintas dimensiones posibles del entorno construido y el comportamiento de viaje, luego de controlar por factores socioeconómicos. Las variables generalmente utilizadas para operacionalizar dicha exploración no son de fácil construcción y comprensión. [Bhat y Guo \(2007\)](#) especifican que las características socioeconómicas pueden moderar el efecto del entorno construido en la medida que son parte de las características de quién toma la decisión de viaje. En términos generales, dichos autores clasifican en dos a las influencias que moderan el efecto del entorno construido: las directas (como el caso de la tenencia de vehículo), y las indirectas, que refieren a características del individuo que moderan la influencia del entorno. [Stead \(2001\)](#) también subraya la importancia de especificar los efectos socioeconómicos, los cuales además de afectar los patrones de viaje pueden estar asociados con diferentes características del entorno construido, lo que complejiza la relación entre el entorno construido y la movilidad.⁶

El uso del suelo afecta directamente a la movilidad a través de los costos relativos entre cada uno de los modos de viaje [Boarnet y Crane \(2001\)](#). [Maat et al. \(2005\)](#) sostienen que las teorías basadas en la utilidad y las actividades añaden ideas adicionales. Definen que distintos comportamientos de viaje son determinados por el entorno construido a través de los cambios de tiempo de viaje, en la medida de que las personas minimizan el tiempo, maximizan los beneficios u optimizan sus patrones de actividad. [Maat et al. \(2005\)](#) y [Maat y Maat \(2009\)](#) enfatizan que la influencia de la forma urbana se extiende a través del tiempo de viaje. Reflejan en un simple gráfico, que se muestra en la figura 3.5, como el uso mixto del suelo afecta el tiempo de viaje y por ende la utilidad del viajero, cuando hay actividades que se pueden hacer de forma cercana o cuando están concentradas. [Cervero y Duncan \(2006\)](#) argumentan que el uso mixto del suelo es una política efectiva para reducir las distancias de viaje al ubicar orígenes y destinos más próximos entre sí, inducir a las personas a caminar y usar la bicicleta, inducir a las personas a usar el transporte público.

En la figura 3.5 se comparan tres abstracciones de uso del suelo que afectan la utilidad esperada del viaje dependiendo del tiempo y uso del suelo. En una

⁶[Cervero et al. \(2009\)](#) enfatizan que existen algunas diferencias entre los países desarrollados y los países en desarrollo, luego de analizar el caso de Bogotá. En dicha ciudad hay alta proporción de viajes a pie y en bicicleta debido a la gran cantidad de hogares sin automóviles y a la falta de planificación zonal. Ello pone de relevancia a las características socioeconómicas como determinantes de los modos de viaje y sobre todo a la tenencia de vehículo.

situación donde no haya diversidad de usos del suelo (uso mixto) la utilidad esperada tendrá una forma de S continua, en el caso de uso mixto del suelo la utilidad tendrá forma escalonada, y en el caso de concentración la utilidad será cero hasta llegar al lugar de la concentración y luego de ello aumentará de un salto para quedar constante. En este último caso lo que sucede es que el individuo tiene que realizar determinado tiempo de viaje hasta que llegue al sitio de la concentración de usos.

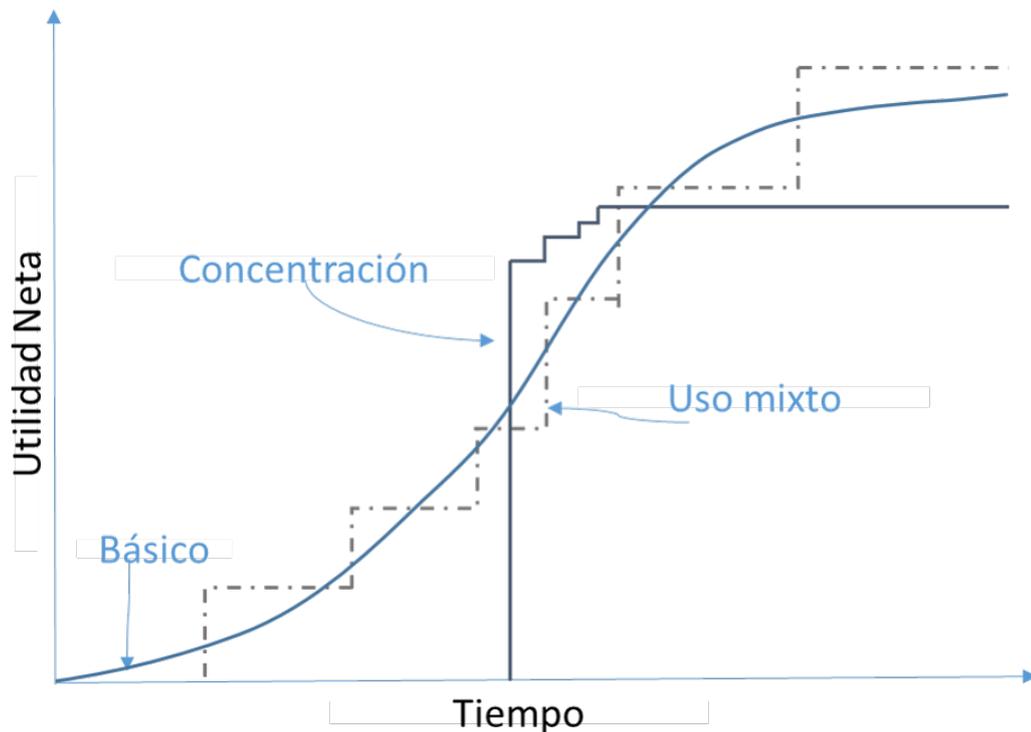


Figura 3.5. Efectos estilizados del uso del suelo. La figura presenta la utilidad neta de un individuo y la relación con el tiempo de viaje, frente a diferentes opciones de uso del suelo. La curva con forma de S representa el básico caso aleatorio, luego el uso mixto del suelo tiene una forma escalonada y en el otro extremo se encuentra la utilidad derivada de una concentración total de usos

Siguiendo a [Wheaton \(2004\)](#) la alta concentración de usos del suelo estaría relacionada con una ciudad monocéntrica y con alta aglomeración del empleo. En el caso contrario, si el empleo se encuentra disperso sería un caso de baja aglomeración y posible uso mixto del suelo. Comparando, en la figura 3.5, la utilidad continua y escalonada es posible observar que en el caso de uso mixto se llega a una utilidad superior en menos tiempo. El uso mixto del suelo puede afectar la movilidad no sólo porque afecta la separación física de las actividades en el espacio sino que también se puede encontrar relacionado con

la distribución espacial del empleo.

[Greenwald y McNally \(2008\)](#) apoyan la hipótesis de que incrementos en la densidad y en el balance entre uso residencial y comercial del suelo, reducen simultáneamente el tiempo de viaje de todos los modos de transporte, y el resultado final depende de los incrementos relativos de viajes entre los modos de transporte. [Crane \(2001\)](#) también sostiene que el cambio modal depende de la conveniencia relativa entre los distintos modos de transporte. Es decir, a priori no es razonable suponer que porque es más fácil ir a pie se reducirán los viajes en automóvil. Sin embargo, [Greenwald y McNally \(2008\)](#) diferencian tipos de diseño urbano que podrían afectar positivamente los viajes a pie, como aquellos que reducen en términos proporcionales más el tiempo de viaje a pie que automóvil. [Cao et al. \(2006\)](#) encuentran fuerte asociación entre el diseño del barrio de residencia y la elección del tipo de vehículo en los viajes individuales motorizados. Su contribución busca encontrar herramientas que relacionen actitudes o preferencias de vehículos más eficientes desde el punto de vista energético y de emisión, y de como se encuentra determinado por el diseño del barrio.

[Jacobs \(1961\)](#) desde la observación discute el efecto en la vitalidad de una ciudad de distintas densidades urbanas. Alta densidad es generalmente asociada con menor uso del automóvil ([Chen et al. 2008](#); [Kitamura et al. 1997](#)) aunque como se mencionó anteriormente las condiciones socioeconómicas pueden moderar el efecto del entorno construido, en este caso el efecto de la densidad de la población o la densidad de empleo. Zonas urbanas de bajas densidades son más propicias al uso del automóvil, ya que la infraestructura y servicios de transporte público tampoco proliferan en zonas de baja densidad. Igualmente existen distintas teorías sobre el efecto de la densidad en el uso del automóvil y distintos resultados empíricos. A pesar de que se espere que altas densidades reduzcan el uso del vehículo privado, los resultados de la literatura son ambiguos. La investigación de [Levinson y Kumar \(1997\)](#) revela algunos resultados interesantes acerca de la relación entre el comportamiento de los viajes y la densidad. Observan que si bien la densidad tiene efectos notables sobre la velocidad y distancia, su efecto sobre el tiempo es limitado y depende de niveles de densidad. Una de sus conclusiones es que el tiempo de recorrido está relacionado negativamente con la densidad por debajo de 10.000 ppsm (personas por millas cuadradas) y positivamente relacionado por encima de 10.000 ppsm.

En el caso de los viajes no motorizados, a pie o en bicicleta, la densidad puede ser un factor clave para aumentar las tasas de viajes no motorizados. En este caso la densidad determina el nivel de proximidad aceptable para realizar viajes no motorizados, pues además la densidad se encuentra asociada con la compactibilidad de una ciudad. En áreas urbanas densas las distancias entre locaciones son más cortas y se puede llegar a ellas fácilmente a pie o en bicicleta. [Rodríguez y Joo \(2004\)](#) enfatizan en que el rol de la densidad está en ser catalizador de la presencia (o ausencia) de atributos claves para la elección modal.

Siendo el presente trabajo un primer acercamiento a la problemática en cuestión, el trabajo sustenta el comportamiento de viaje bajo la teoría de la utilidad esperada e incorpora heterogeneidades por zona de residencia a este modelo básico. Además, de acuerdo con [Limtanakool et al. \(2006\)](#), se define la densidad, la proximidad a infraestructura de transporte y la diversidad de usos del suelo como las tres dimensiones de la forma urbana que más influyen en la elección modal.

La elección modal es una decisión revelada de la preferencia de los modos de viaje de los individuos, tomada en base a la comparación de la utilidad que reporta cada modo. En la figura 3.6 se presenta el modelo simplificado de elección modal que busca resumir los desarrollos teóricos precedentes. Se puede observar que la utilidad se encuentra determinada por las características sociodemográficas (SE) de las personas, las características del viaje (T) y las características del entorno construido (BE) (o de forma más general, con la forma urbana). Uno de los principales atributos del viaje que influye sobre la utilidad del individuo es el tiempo de viaje, que además se encuentra indirectamente relacionado con el entorno construido. A su vez, las características sociodemográficas están directamente relacionadas con la actividad, el motivo subyacente detrás de las necesidades de movilidad. Si bien desde un análisis de corte transversal se asume que el entorno construido es un determinante exógeno de la elección modal, en la figura 3.6 se plasma la interrelación entre las características sociodemográficas y la forma urbana.

El modelo simplificado de elección modal supone que las personas intentan satisfacer sus necesidades de movilidad dentro de las limitaciones de espacio y tiempo y en el contexto del hogar y las instituciones. El objetivo de un individuo no es minimizar los costos de viaje (como el tiempo), sino, más bien, maximizar la utilidad. El tiempo ahorrado puede ser consumido por incre-

mentos en el tiempo de actividad, pero también por la sustitución de destinos más preferidos que implican mayores costos de viaje (para obtener un mayor atractivo), o programando más actividades fuera del hogar.

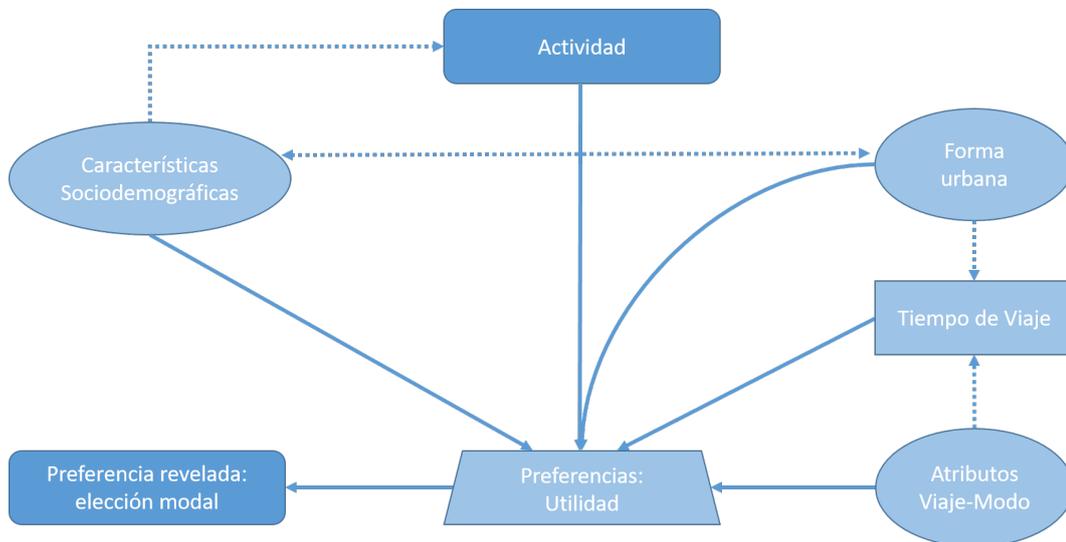


Figura 3.6. Modelo simplificado elección modal. La figura representa el esquema analítico de la elección modal, en base a las preferencias determinadas por la utilidad y el efecto de las restricciones contextuales.

Hipótesis de la investigación

A partir de los objetivos de la presente tesis, del modelo teórico de análisis y los antecedentes empíricos relevados y documentados se desprenden las hipótesis que guían esta investigación:

H1: Variaciones en el entorno construido están asociadas a diferencias en el comportamiento de viaje, luego de tener en cuenta características sociodemográficas.

Esta hipótesis implica que el comportamiento de viaje se encuentra influenciado por las variaciones en el entorno construido a nivel de escala local, en la medida que representan restricciones (u oportunidades) para las decisiones individuales de viaje. Las características sociodemográficas pueden moderar el efecto del entorno construido en la medida que son parte de las características de quien toma la decisión de viaje. Las variaciones en el entorno construido pueden deberse a diferentes atributos espaciales, uno de los más relevantes es la diversidad de usos del suelo, tal como se detalló en el apartado anterior.

H2: Mayor mix use o diversidad de usos tiene un efecto positivo sobre los

viajes a pie o en bicicleta y sobre los viajes en transporte público.

La diversidad de usos del suelo disminuye la distancia recorrida, como se mostró a través de la figura 3.5 (página 30). Disminuir la distancia recorrida torna más atractivos los viajes no motorizados y al transporte público versus vehículo privado.

H3: Mayor mix use o diversidad de usos tiene un efecto negativo sobre los viajes en vehículo privado.

El vehículo privado como modo de viaje reporta menor utilidad en zonas residenciales donde existen altos niveles de diversidad de usos del suelo. Zonas residenciales con altos niveles de diversidad de usos del suelo disminuyen la atracción de este modo.

H4: Mayor densidad tiene un efecto positivo sobre el transporte público y negativo sobre el vehículo privado.

Una alta densidad aumenta la base de población del transporte público y puede causar externalidades negativas en el vehículo privado derivada de la congestión del tránsito, aumentando los tiempos de viaje que afectan negativamente a la utilidad esperada.

H5: Mayor proximidad de infraestructura del sistema de transporte público tiene un efecto positivo sobre la elección del transporte público como modo de viaje.

La infraestructura de transporte es un atributo del entorno construido, y por ende es plausible que afecte las decisiones de movilidad. En el caso del transporte público mayor proximidad de infraestructura, como paradas, líneas y estaciones aumentarían la accesibilidad al transporte público haciéndolo un modo de viaje más atractivo.

H6: El tiempo es afectado por las características del entorno construido las zonas, presentando entonces variabilidad por zona de residencia.

Por último, como se reflejó en el esquema simplificado de elección modal, el tiempo afecta la utilidad de viaje tanto directamente, como atributo de viaje, como indirectamente por los efectos de la forma urbana en los tiempos de viaje.

Capítulo 4

Estrategia y metodología de análisis

El presente estudio, como fue mencionado anteriormente, examina la influencia de determinados factores del entorno construido, que representan dimensiones de la forma urbana de las zonas de residencia, utilizando un enfoque de estructura de toma de decisiones jerárquica y controlando por variables sociodemográficas, de las alternativas y de la actividad. En esta sección se presentan las metodologías de análisis y el diseño empírico utilizados para dar cuenta de los objetivos del trabajo. Por otro lado, y en referencia a los objetivos específicos y las hipótesis planteadas (ver página 33), en este capítulo también se desarrolla el indicador de diversidad de usos del suelo como factor que influye en la elección modal.

El modelo de estimación y estrategia de análisis depende del foco de la investigación y de los datos disponibles o relevados. El presente trabajo se enfoca en la elección modal cotidiana y toma como dado el estilo de vida de las personas -que define las características demográficas de los mismos- y las decisiones de localización de residencia, de acuerdo al enfoque de las decisiones jerárquicas. Por ende, las características de las zonas de residencia, como el entorno construido, son exógenas en el corto plazo, representan una restricción espacial sobre las decisiones de elección modal de acuerdo a [Van Acker et al. \(2010\)](#) y presentan heterogeneidad espacial.

Las decisiones de movilidad en el corto plazo, como la elección modal, se encuentran determinadas por las preferencias de los individuos reflejada en la maximización de su función de utilidad, como se plasma en la figura 3.6

página 33. La utilidad esperada de cada individuo se encuentra determinada básicamente por las características sociodemográficas (SE) (que determinan las actividades), los atributos de viaje (T) y el entorno construido (BE). Para discriminar entre los factores del entorno construido, de las zonas de residencia, los factores socioeconómicos y los atributos del viaje, es necesario contar con elementos del entorno espacial que permitan dar cuenta de distintas políticas urbanas que incidan sobre las decisiones de movilidad. Adicionalmente, es preciso apreciar que existe una interdependencia de estructura espacial: los individuos se encuentran anidados en vecindarios. [Van Acker et al. \(2010\)](#) sugieren abordar dicha particularidad a través de análisis multinivel, debido a la necesidad de acomodar la heterogeneidad no observada entre los individuos en su sensibilidad a dichas variables exógenas observadas (el entorno construido de las zonas de residencia) ([Bhat 2001](#)). Otro elemento que puede ser de referencia para decidir entre una metodología u otra es pensar que elementos de política pueden ser detallados a partir de los resultados.

4.1. Elección modal: modelización multinivel

El análisis multinivel permite, a nivel empírico, manejar la heterogeneidad espacial, las características de las alternativas y el marco de forma de decisión individual desde la teoría de la utilidad esperada ([McFadden et al. 2000](#)). También permite incorporar variables referentes a las actitudes y preferencias. Ha sido propuesto en investigaciones geográficas para modelar la heterogeneidad espacial ([Páez y Scott 2005](#); [Weber y Kwan 2003](#); [Bhat 2000, 2001](#); [Ding et al. 2014](#); [Jones y Duncan 1996](#)), puesto que permite definir en una primera jerarquía las observaciones a nivel individual, y en una segunda jerarquía a nivel de las zonas de residencia. Los modelos multinivel permiten capturar la variación no sistemática del análisis empírico por dos términos de error, uno de ellos específico a nivel de las zonas de residencia.

[Weber y Kwan \(2003\)](#) establecen que los modelos de regresión suponen que las relaciones observadas son constantes en todo el área metropolitana, pero puede ser que el comportamiento de viaje y las características del hogar difieran entre los barrios. Y existe el problema de que no se puede saber con seguridad si son las características de la ubicación o de las actividades de la gente (o ambas) las que han creado estas relaciones. Utilizan modelos multinivel para discriminar si la accesibilidad que perciben ciertos hogares por encima de la

media se debe directamente a su comportamiento o a que su ubicación les ha permitido una alta movilidad y les ofrece una gran variedad de actividades potenciales. Bajo el mismo punto de vista, pero enfocado a la elección del modo de viaje y no a la accesibilidad, es que se utiliza esta metodología de análisis en el presente trabajo.

Conforme a las especificaciones anteriores se utilizarán las modelizaciones multinivel con dos niveles de análisis el viaje de la persona y la zona de residencia de la misma. La unidad viaje-persona incluye las características sociodemográficas y los atributos del viaje, mientras que la unidad zona de residencia contiene las características del entorno construido de la zona de residencia del individuo. En los siguientes apartados se especifica la utilidad esperada derivada de las alternativas de viaje, la identificación de la modelización multinivel en la elección de alternativas y los modelos de estimación binarios (intercepto aleatorio y pendiente aleatoria). Los procedimientos de estimación se detallan en el anexo 2.

4.1.1. Utilidad de las alternativas de viaje

Los distintos modos de transporte constituyen distintas alternativas de movilidad para una persona (Cervero 2002), desde un enfoque multinivel (Bhat 2000, 2001), la utilidad de una alternativa (basada en los tipos de modelos teóricos de la maximización de la utilidad esperada, RUM) m , perteneciente al conjunto de alternativas C , para cada individuo n del cluster j se asume que consiste en dos partes: una parte determinística V_{nj}^m y un componente aleatorio ϵ_{nj}^m , como se resume en la siguiente ecuación:

$$U_{nj}^m = V_{nj}^m + \epsilon_1^m \quad (4.1)$$

Donde, $m = 1, 2, \dots, M$ representa el modo de transporte, $j = 1, 2, \dots, J$ denota el clúster (la zona de residencia) y $n = 1, 2, \dots, n_j$ denota el viajero de la j -ésima zona de residencia, proporcionando de esta forma el carácter de estructura anidada de la utilidad esperada. La alternativa con el mayor nivel de utilidad será la seleccionada por el individuo, es decir, aquel modo de viaje que le proporcione mayor utilidad. La parte determinística representa la parte fija de la utilidad y está linealmente relacionada a predictores lineales del modelo,

en términos de ecuaciones:

$$V_{nj}^m = \alpha^m + \beta^m X_{nj} + \beta_j Z_{nj}^m + \xi_{nj}^m + \zeta_j^{(m)} \quad (4.2)$$

Donde $\alpha_{nj}^{(m)}$ es in intercepto fijo propio de la alternativa de viaje, X_{nj} es un conjunto de covariables explicativas que varían entre los viajeros y $\beta^{(m)}$ es el conjunto de coeficientes asociados a ser estimados. También es posible modelar atributos que varían entre categorías de respuesta e individuos anidados en las j zonas de residencias, capturados por $Z_{nj}^{(m)}$. El término $\zeta_j^{(m)}$ agrega la versión multinivel del modelo, pues incluye términos aleatorios para capturar la heterogeneidad inobservada a nivel de la zona de residencia. Mientras que el término $\xi_{nj}^{(m)}$ captura la heterogeneidad inobservada a nivel del individuo.

En el capítulo 3 se explicó que la utilidad de viaje, además de estar determinada por las características de los individuos que afectan las preferencias, varía dependiendo de los atributos del viaje (el modo básicamente), la diversidad de usos del suelo y el tiempo de viaje, el cual asimismo se encuentra influenciado tanto por el modo como por la forma urbana, véanse las figuras 3.4, 3.3 y 3.5 (páginas 3.4, 3.3 y 3.5). En la ecuación 4.2 X_{nj} representa a las características sociodemográficas y de los atributos de viaje como variables explicativas que varían entre los viajeros, mientras que $Z_{nj}^{(m)}$ captura los atributos del entorno construido de las zonas de residencia de cada individuo.

4.1.2. Identificación

La utilidad es inobservable, pero existe información acerca del modo de viaje elegido. Como se detalló anteriormente, la elección de una alternativa de viaje, y por ende la probabilidad de elegirla, depende de las características socioeconómicas (SE), características del viaje (T) y características del entorno construido (BE, el cual puede ser a priori a nivel de la zona de residencia, de destino del viaje o de origen)(Cervero y Duncan 2003). La ecuación 4.3 muestra que la probabilidad de elegir alguna de las alternativas es una función que tiene como inputs los factores mencionados que identifican la función de utilidad esperada. La ecuación 4.4 detalla la forma funcional de la probabilidad

de elegir alguna de las alternativas.

$$Pr(Y_{nj} = m_i) = f[SE_n, T_n, BE_{nj}] = Pr(Y_{nj} = m_i | X_{nj}, Z_{nj}^{(m)}) = \frac{\exp[V_{nj}^{(m)}]}{1 + \sum_{l=2}^M \exp[V_{nj}^{(l)}]} \quad (4.3)$$

Siendo Y_{nj} la cantidad de viajes por modo de transporte, la distribución de las alternativas (McFadden 1976) tiene la siguiente forma:

$$Y_{nj} | m1_{nj}, m2_{nj}, m3_{nj} \sim Multinomial \quad (4.4)$$

Siendo $m1_{nj}$ la probabilidad de elección de cada modo de transporte, y $m3_{nj}$ la probabilidad de la alternativa base. La función enlace es la logit multinomial, tal que:

$$Pr(Y_{nj} = m_i | X_{nj}, Z_{nj}^{(m)}, \zeta_j^{(m)}) = \frac{\exp[V_{nj}^{(m)}]}{1 + \sum_{l=2}^M \exp[V_{nj}^{(l)}]} = \eta_{nj}^{(m)} = \log\left(\frac{m1_{nj}}{m3_{nj}}\right) \quad (4.5)$$

Donde $\sum_{i=1}^M \eta_{nj}^{(m)} = 1$. Los odds de los modelos logísticos representan la probabilidad de éxito dividido sobre la probabilidad de fracaso; se utilizan los odds ratios como medida para analizar el efecto de los predictores. Una propiedad de los modelos multinivel es que los odds para dos categorías m y l para el sujeto n de la zona j es que:

$$\frac{Pr(Y_{nj} = m | X_{nj}, Z_{nj}^{(m)}, \zeta_j^{(m)})}{Pr(Y_{nj} = l | X_{nj}, Z_{nj}^{(m)}, \zeta_j^{(m)})} = \exp(\eta_{nj}^{(m)} - \eta_{nj}^{(l)}) \quad (4.6)$$

Es decir, que depende solo de los predictores lineales de las categorías en comparación y no de otras categorías. Dicha propiedad que es conocida como *independencia de alternativas irrelevantes*. Sin embargo, la introducción de términos aleatorios en los predictores lineales relaja parcialmente dicha propiedad. Las funciones de probabilidad multinomiales son por ende linealizables a través de la función de enlace, de este modo el primer nivel de análisis es:

$$\eta_{nj}^{(m)} = \beta_{0j}^{(m)} + \sum_q^Q \beta_{qj}^{(m)} X_{qnj} + \epsilon_{nj}^{(m)} \quad (4.7)$$

Donde X_{qnj} refiere a las características de los individuos, con $q=1,2,\dots,Q$. El segundo nivel de análisis:

$$\beta_{qj}^{(m)} = \gamma_{0j}^{(m)} + \sum_{s=1}^S \gamma_{qs}^{(m)} W_{sj} + \mu_{qj}^{(m)} \quad (4.8)$$

W_{sj} son el conjunto de características del entorno construido de las localidades de residencia. Y $\mu_{qj}^{(m)}$ es el coeficiente aleatorio que captura la heterogeneidad entre zonas de residencia. Uno de los supuestos importantes de esta modelización es que tanto $\mu_{qj}^{(m)}$ como $\epsilon_{nj}^{(m)}$ tienen una distribución normal, con media cero y varianzas σ_μ^2 y σ_ϵ^2 respectivamente, y son además independientes.

En resumen, la estructura anidada de la elección modal, determinada por la utilidad esperada, presenta dos niveles: el nivel del individuo y el nivel del entorno construido de la zona de residencia, que se representan en las ecuaciones 4.7 y 4.8. El segundo nivel de análisis se enlaza a través del efecto sobre el intercepto de la probabilidad de cada alternativa $\beta_{0j}^{(m)}$ y/o bien sobre los coeficientes de las variables explicativas del entorno construido β_{qj} . Este nivel contiene su heterogeneidad espacial en el término $\mu_{qj}^{(m)}$, que se traslada a la probabilidad de elegir un modo de viaje. En el apartado siguiente, a través de la especificación de modelos binarios, se detallan las diferentes modelizaciones para dicha heterogeneidad.

4.1.3. Modelos binarios

Si el problema analítico se enfoca en dos modos de transporte, como el transporte público y el privado la distribución será binomial (Raudenbush y Bryk 2002). De forma tal que:

$$\frac{Pr(Y_{nj} = 1 | X_{nj}, Z_{nj}^{(m)}, \zeta_j^{(m)})}{Pr(Y_{nj} = 0 | X_{nj}, Z_{nj}^{(m)}, \zeta_j^{(m)})} = \frac{exp[V_{nj}]}{1 + exp[V_{nj}]} \quad (4.9)$$

Para explicar y predecir una variable de comportamiento dicotómico que sigue una distribución binomial, como elegir o no ir en vehículo hasta el trabajo, se utilizan los modelos lineales generalizados. Los mismos especifican una función h que relaciona la probabilidad del éxito, como sigue:

$$Pr(y_i = 1 | x_i) = h(\beta_1 + \beta_2) \quad (4.10)$$

O lo que es equivalente:

$$g[Pr(y_i = 1 | x_i)] = \beta_1 + \beta_2 \quad (4.11)$$

Donde g representa la función enlace que permite un predictor lineal semejante a la relación lineal. La función de enlace *logit* es una de las más típicas, junto con la *probit*. En el caso de la función de enlace logit el modelo puede ser escrito como:

$$\text{logit}[Pr(y_i = 1|x_i)] \equiv \ln \frac{Pr(y_i = 1|x_i)}{1 - Pr(y_i = 1|x_i)} \beta_1 + \beta_2 x_i \quad (4.12)$$

El odds representa las probabilidades de que $y_i = 1$ dado x_i , el número esperado de éxitos por fracaso. Si tomamos la inversa de la función de enlace logit podemos obtener la probabilidad de que la respuesta sea 1:

$$Pr(y_i = 1|x_i) = \text{logit}_{-1}(\beta_1 + \beta_2 x + i) \equiv \frac{\exp(\beta_1 + \beta_2 x_i)}{1 + \exp(\beta_1 + \beta_2 x + i)} \quad (4.13)$$

Y además podemos representar la relación entre la probabilidad y el odds:

$$\text{Odds} = \frac{Pr}{1 - Pr}; Pr = \frac{\text{Odds}}{1 + \text{Odds}} \quad (4.14)$$

Regresión logística con intercepto aleatorio

$$\text{logit}Pr(y_i|x_i) \equiv \ln\left(\frac{Pr(y_i|x_i)}{1 - Pr(y_i|x_i)}\right) = \ln\left(\frac{\pi_{ij}}{1 - \pi_{ij}}\right) = \beta_{0j} + \sum_1^p \beta_p x_{(p)ij} \quad (4.15)$$

$$\beta_{0j} = \beta_0 + \mu_{0j} \quad (4.16)$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, \sigma_{\mu_{0j}}^2) \quad (4.17)$$

El intercepto β_{0j} se compone de esta forma de un efecto fijo β_0 igual para cada zona de residencia y un efecto aleatorio μ_{0j} específico para cada zona de residencia. El efecto aleatorio nos permite tomar en cuenta que uno de los factores que afecta la elección del modo de transporte es la zona de residencia del individuo, afectando directamente a la media.

Regresión logística con pendiente aleatoria

$$\text{logit}Pr(y_i|x_i) \equiv \ln\left(\frac{Pr(y_i|x_i)}{1 - Pr(y_i|x_i)}\right) = \ln\left(\frac{\pi_{ij}}{1 - \pi_{ij}}\right) = \beta_0 + \beta_{1j}x_{1ij} \sum_2^p \beta_p x_{(p)ij} \quad (4.18)$$

$$\beta_{1j} = \beta_1 + \mu_{1j} \quad (4.19)$$

$$\mu_{1j} \sim N(0, \sigma_{\mu_{1j}}^2) \quad (4.20)$$

Un modelo de intercepto aleatorio asume que la relación entre la variable respuesta y cualquier variable explicativa es la misma para cada zona de residencia. En cambio un modelo con pendiente aleatoria modifica dicha relación y permite que el coeficiente varíe dependiendo de la variable de variación de segundo nivel, en este caso las zonas de residencia.

Regresión logística con intercepto y pendiente aleatoria

$$\text{logit}Pr(y_i|x_i) \equiv \ln\left(\frac{Pr(y_i|x_i)}{1 - Pr(y_i|x_i)}\right) = \ln\left(\frac{\pi_{ij}}{1 - \pi_{ij}}\right) = \beta_{0j} + \beta_{1j}x_{1ij} \sum_2^p \beta_p x_{(p)ij} \quad (4.21)$$

$$\beta_{0j} = \beta_0 + \mu_{0j} \quad (4.22)$$

$$\beta_{1j} = \beta_1 + \mu_{1j} \quad (4.23)$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, \sigma_{\mu_{0j}}^2) \quad (4.24)$$

$$\mu_{1j} \sim N(0, \sigma_{\mu_{1j}}^2) \quad (4.25)$$

$$\Omega_{\mu} = \begin{pmatrix} \sigma_{\mu_0} & \sigma_{\mu_{01}} \\ \sigma_{\mu_{10}} & \sigma_{\mu_1} \end{pmatrix} \quad (4.26)$$

En este caso la pendiente de la variable explicativa x_{1ij} es $\beta_1 + \mu_{1j}$ Siendo

Ω_μ la matriz de varianzas y covarianzas de los efectos aleatorios, $\sigma_{\mu_{01}}$ es la mencionada covarianza.

4.2. Una medida de complejidad de las ciudades: Diversidad de usos del suelo

Una parte crucial del presente trabajo refiere a la construcción y adecuación de los factores de entorno construido que afectan el modo de viaje desde el enfoque de complejidad de las ciudades. Una medida de complejidad es la diversidad de usos de suelos, *mix use*, que ha sido identificada por diferentes autores como un componente fundamental en la determinación de los patrones la movilidad y una referencia constante a las políticas territoriales. Uno de los objetivos del presente trabajo es la construcción y definición de un indicador que capture la diversidad de usos funcionales, ya que la medición del uso mixto del suelo no se encuentra estandarizada. En este apartado se recoge como indicador de la diversidad de usos del suelo al que se ha definido como entropía urbana y se expone su forma funcional. En el anexo 3 se detallan otras posibles medidas de diversidad de usos del suelo.

Indicador de entropía

Uno de los indicadores más utilizados para medir el uso mixto del suelo es el índice de diversidad de usos funcionales¹. El índice de diversidad se basa en una medida de “entropía”, definida desde la mecánica estadística por Ludwig Boltzmann en la década de 1870. Ésta mide, para un conjunto de variables macroscópicas, la probabilidad de que el sistema se extienda sobre distintos microestados². De esta forma la entropía será mayor cuanto más estados con probabilidad apreciable disponga el sistema.

¹Otro indicador utilizado es el índice de disimilitud, el cual busca capturar el grado de divergencia de usos del suelo entre una zona, con cierto nivel de hectáreas, y sus zonas (o celdas) adyacentes (Kockelman 1997).

²La entropía también se utiliza para cuantificar la uniformidad de las mezclas gaseosas. En una reacción química con el nivel de entropía un investigador puede detectar cuál es el producto y cuál es el reactor. Ya que en dicho caso, según la segunda ley de la termodinámica, la entropía mide el desorden de un sistema (mayor número de moléculas, transformaciones, etc.), y el estado “ideal” (espontáneo) de un sistema es aquel que tiende a mayor desorden, es decir, a mayor entropía. En el caso del uso mixto del suelo mayor entropía también equivaldría a un estado “ideal” de nuestro sistema, que en este caso sería cada zona de residencia.

El enfoque que amplió la utilidad de la noción de entropía fue el desarrollado por [Shannon y Weaver \(1949\)](#), quienes buscaban una medida de cantidad de información que se transmitía en las señales de los transmisores. Los autores entienden por cantidad de información a la probabilidad de que un mensaje sea recibido, dentro de un conjunto de mensajes posibles, de forma tal que ésta es proporcional a la cantidad de bits mínimos que se requieren para representar un mensaje. Siendo P_i la probabilidad del mensaje i de una fuente y k la cantidad de mensajes, el nivel de entropía en una fuente se puede calcular como:

$$H = - \sum_1^k P_i * \ln(P_i) = \sum \ln(P_i^{P_i}) \quad (4.27)$$

El concepto de entropía tampoco es nuevo en los análisis espaciales. Según [Wilson \(1970\)](#), el desarrollo del concepto de entropía en las ciencias urbanas y regionales se presenta en términos de su uso, y han sido los modelos de transporte los que primero han acudido a este concepto. Así también el concepto ha sido aplicado en los modelos gravitacionales, de transporte, y en análisis urbanos y regionales generalmente como medida de diversidad, complejidad o disimilitud ([Kockelman 1997](#); [Parra et al. 2010](#)). [Batty et al. \(2014\)](#) analizan en profundidad el concepto de entropía con el objetivo de encontrar o proponer una medida de complejidad para los sistemas espaciales en general y para la ciudad como sistema en particular. Parten de la noción de entropía desarrollada por [Shannon y Weaver \(1949\)](#), considerando las propiedades de la misma, y avanzan proponiendo otras medidas de complejidad dependiendo del objeto de análisis del investigador.

Por otro lado, [Batty \(1976\)](#) menciona que la entropía estadística ha sido utilizada en las ciencias geográficas para medir la varianza de las distribuciones de probabilidad espacial. En dicho sentido, [Walker et al. \(2015\)](#) utilizan la medida de entropía de [Shannon y Weaver \(1949\)](#) para determinar los efectos de la entropía urbana sobre los costos energéticos del transporte en la ciudad de La Serena (Región de Coquimbo, Chile). Los tipos de usos de suelo los definieron en base a los equipamientos urbanos que representan destinos primordiales de traslado, como centros de educación, de salud y servicios públicos, entre otros. Concluyen que incrementos del índice de entropía urbana (al que también llaman de complejidad de usos) disminuyen proporcionalmente los gastos energéticos.

El indicador de entropía establecido para determinar la diversidad de usos de suelo parte del indicador de [Shannon y Weaver \(1949\)](#), como se definió en la ecuación 4.27. Siendo P_i la probabilidad del equipamiento i de una zona y k la cantidad de equipamientos, el nivel de entropía en una fuente se puede calcular como $H = -\sum_1^k P_i * \ln(P_i)$.

O bien, se puede ver de otra forma, si se define un rango de n eventos probables, la probabilidad de ocurrencia de un evento p_i varía con respecto a alguno de los atributos del sistema, y la suma de las probabilidades de ocurrencia de los n eventos es uno:

$$-\sum_1^k P_i \quad (4.28)$$

En el caso de que ocurra un evento, en dicho caso la información obtenida varía inversamente con el tamaño de la probabilidad. Cuando los eventos tienen alta probabilidad de ocurrencia entonces la información es baja. En el caso de los usos del suelo en una determinada zona, si la probabilidad de algún uso es muy alta entonces la diversidad es baja. Por el otro lado, cuando la probabilidad de ocurrencia es baja entonces la información es alta. Y si la probabilidad es uno entonces no hay información ([Batty et al. 2014](#)). De esta forma se está asumiendo que la información es $1/p_i$ para un evento. En el caso de 2 eventos la información ha de ser proporcional a $1/(p_1 p_2)$, pero al mismo tiempo es de esperar que la información sea aditiva $1/p_1 + 1/p_2$. De modo que se requiere de una forma funcional específica que asegure que:

$$f\left(\frac{1}{p_1 p_2}\right) = f\left(\frac{1}{p_1}\right) f\left(\frac{1}{p_2}\right) \quad (4.29)$$

La función que permite igualar la anterior ecuación es $\log(1/p)$. Computando el valor esperado de la información, de forma de obtener la información de los dos eventos se llega a:

$$H = H(2) = -p_1 \log p_1 - p_2 \log p_2 \quad (4.30)$$

Y en términos generales:

$$H = H(n) = -\sum_1^k P_i * \ln(P_i) \quad (4.31)$$

Una de las propiedades de la fórmula de entropía utilizada es que varía

entre 0 y $\log(n)$ (siendo n la cantidad total de equipamientos funcionales del suelo), de esta forma cuando $H=0$ un tipo de uso del suelo predomina, mientras que cuando $H = \log(n)$ se llega a la mayor diversidad de usos del suelo en una zona determinada (Batty et al. 2014). A su vez mientras más uniforme sea la proporción de tipos de uso del suelo dentro de una forma mayor será su entropía urbana.

4.3. Modelos de análisis

En el desarrollo de la metodología analítica se plasmaron las distintas opciones de modelos multinivel. En las herramientas estadísticas disponibles no se encuentran ampliamente desarrollados los modelos multinomiales multinivel, debido a las necesidades computacionales asociadas con la estimación e iteración de los modelos. Sin embargo, si se encuentran mejores desarrollos y aplicaciones para modelos binarios. Por este motivo, y dado que no modifica sustancialmente los posibles resultados y conclusiones se realizarán modelos binarios multinivel para las tres alternativas de modos de viaje.

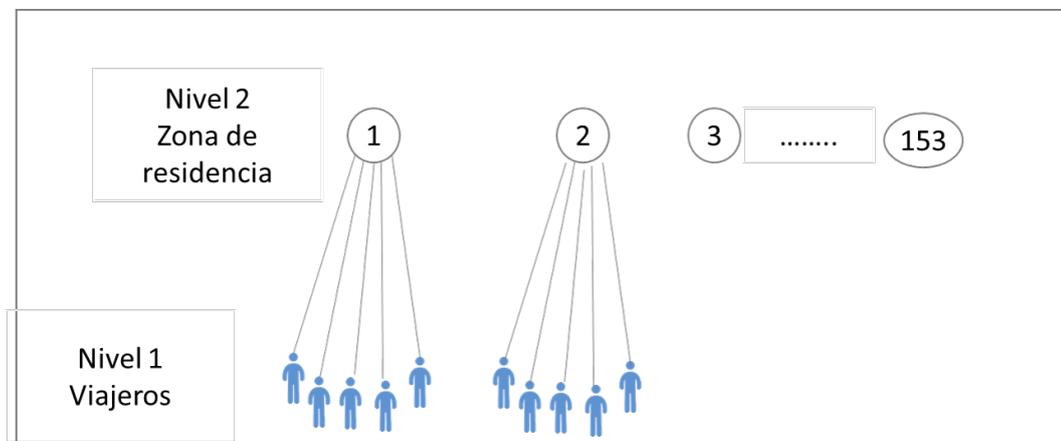


Figura 4.1. Niveles de análisis en los modelos de elección modal. Los viajeros se encuentran agrupados en las 153 zonas dependiendo de su zona de residencia

Con el objetivo de comprender el efecto de la variabilidad de la zona de residencia se estimarán modelos binarios de intercepto aleatorio. Un primer modelo sin variables explicativas, el modelo nulo; un segundo modelo en el que se agregan las variables del primer nivel; y un último modelo en el que se agregan las variables del segundo nivel. El primer nivel de análisis es el nivel del individuo, donde se utilizan como predictores las características sociode-

mográficas individuales. El segundo nivel de análisis son las zonas de residencia, en el mismo se adhieren las variables del entorno construido que caracterizan a cada ZAT (zona analítica de transporte).

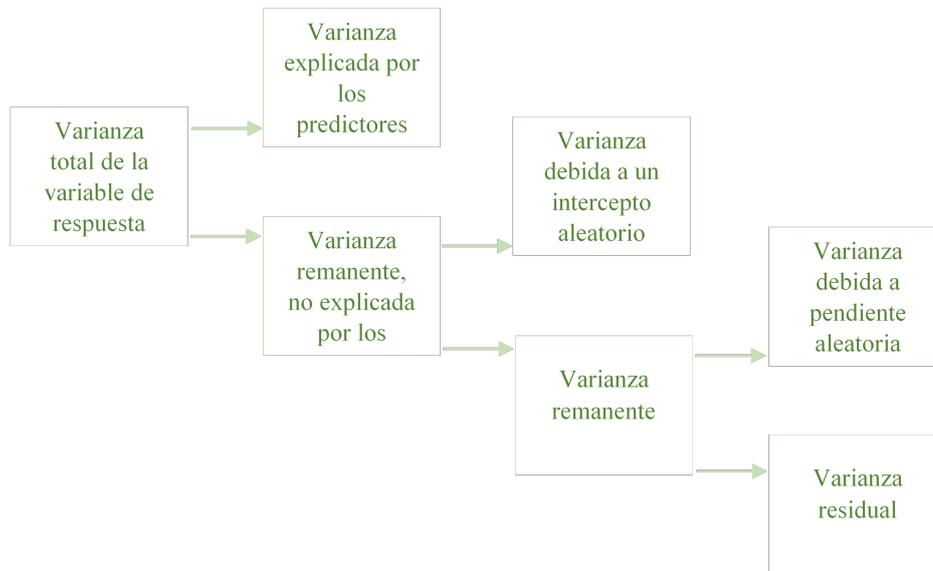


Figura 4.2. Componentes de la varianza de la variable de respuesta. En los modelos multinivel la varianza de la variable de respuesta puede explicarse por: los predictores, el intercepto aleatorio y la/s pendiente/s aleatorias. Fuente: [Twisk \(2013\)](#).

Las figuras 4.1 y 4.2 se presentan la estructura de los modelos, en general, y los componentes de la varianza. El intercepto de dichos modelos binarios será aleatorio en términos del segundo nivel, es decir, en término de las zonas de residencia. Las variables del entorno construido se incluirán con el objetivo de determinar que factores explican la variabilidad por zona.

Con el fin de determinar si el tiempo de viaje se encuentra determinado por el entorno construido, y la variabilidad de la zona de residencia, se realizarán tres modelos de intercepto y uno pendiente aleatoria.³

³Cada una de las estimaciones tendrán en cuenta el ponderador de la muestra de la encuesta.

Capítulo 5

Datos, variables y modelos

En este capítulo se presenta el caso de estudio, los datos utilizados y su modo de recolección para el análisis empírico tal como se ha detallado en el capítulo anterior. También se detallan las variables dependientes y explicativas, y los modelos de análisis multinivel para realizar las estimaciones que se presentan en el sexto capítulo.

5.1. Datos

La tarea de recopilación de datos ha sido un componente exigente del presente trabajo, por la necesidad de contar con datos sobre los viajes, las características personales y familiares, las características del lugar de residencia y de las actividades o motivos de viaje. Pero principalmente por el hecho de capturar información espacial y generar indicadores del entorno construido. Como se muestra en la [5.1](#) la conformación de la base de datos ha involucrado, en primer lugar, la definición de las dos unidades de observación: las zonas de residencia y la unidad viaje. Dado que cada viaje tiene diferentes características, es decir, los distintos viajes de una misma persona son diferentes en algún aspecto, por ejemplo el tiempo de viaje, se considera al viaje como la unidad de análisis y no la persona, que podría haberse utilizado.

Los datos de origen-destino de los viajes provienen de la Encuesta de Origen-Destino de 2009 que llevó a cabo la Intendencia de Montevideo (IM) en convenio con el Instituto Nacional de Estadísticas (INE)¹, a la que se le agregó un módulo de preguntas adicionales referentes a movilidad, con un

¹En el anexo [5](#) se encuentra el formulario utilizado para la encuesta realizada entre el INE y la IM.

total de 8486 viajes registrados. El apartado de movilidad dentro de la encuesta recabó información sobre: composición, motorización y disponibilidad de espacio de estacionamiento de los hogares; los patrones de movilidad de los individuos; hábitos, opiniones y preferencias tanto de los usuarios como los no usuarios del sistema de transporte colectivo; hábitos y preferencias de los entrevistados respecto a las compras en sus viajes; y datos sociodemográficos de las personas y sus hogares.

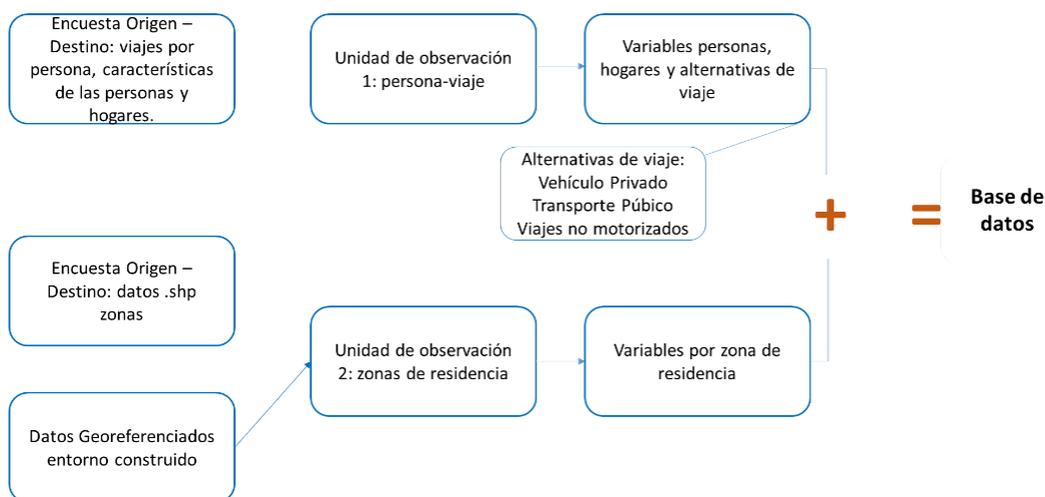


Figura 5.1. Esquema recopilación de datos. La base de datos que contiene los viajes y los datos de las zonas se nutre de dos principales fuentes: la encuesta origen-destino y el catálogo de datos de la Intendencia de Montevideo (Uruguay).

La encuesta de origen-destino contiene información de la zona de residencia de cada persona, entendidas como las ZAT (zonas analíticas de transporte). Cada viaje detalla la zona de origen, la zona de destino y la zona de residencia en término de las ZAT. Dicha información, además de encontrarse en una tabla plana, contiene la información georreferenciada de cada zona, es decir el polígono que conforma en el mapa de Montevideo. Para realizar la lectura del mapa de Montevideo y las ZAT se utilizó la herramienta QGIS² como sistema de información geográfica.

Para la generación de información espacial por ZAT se utilizó la información geográfica del catálogo de datos de la Intendencia de Montevideo³. La misma se descargó alrededor de junio de 2015⁴. En la sección 5.3 se detallan la

²QGIS es un sistema de información geográfica libre y de código abierto. Permite crear, editar, visualizar, analizar y publicar información geoespacial en Windows, Mac, Linux, BSD. Por mayor información o para descargarlo ir a: <http://qgis.org/en/site/>

³Para acceder a la misma ir a <http://sig.montevideo.gub.uy/>

⁴Si bien existe un pequeño desfazaje de dicha información y la encuesta, en términos

extracción, carga y construcción de la información geográfica.

5.2. Área de Estudio

La encuesta de origen destino de la Intendencia de Montevideo, para el año 2009, fue realizada para el área metropolitana. Específicamente el Área Metropolitana de Montevideo (AMMON) incluye: departamento de Montevideo (completo), y todas aquellas localidades que poseen al menos una zona censal (aproximadamente una manzana) en un radio de 60 km. del kilómetro cero de Montevideo en la plaza Cagancha. A efectos del presente trabajo se tomará en cuenta los viajes solamente de Montevideo, es decir, se excluirá el primer y segundo anillo que juntos conforman el área metropolitana. Lo cual incluye localidades de San José y Canelones, habitualmente llamadas “ciudades dormitorio”. Por otro lado, se tomaron en consideración los viajes que se tuvieron como origen y destino algún punto de Montevideo, es decir, no se consideran los viajes que tuvieron como destino una localidad o zona fuera de Montevideo.

5.3. Variables dependientes

Tras el objetivo de determinar los factores que afectan la elección del modo de viaje y fomentar la discusión de las políticas de uso del suelo desde el enfoque de movilidad sustentable, el presente estudio se enfoca en el análisis de tres modos de viaje: los no motorizados, el transporte público y el vehículo privado (tal como se especificó en la introducción del trabajo). Por consiguiente, las variables de respuesta de los modelos a estimar son tres y refieren a la elección de viaje para cada uno de dichos modos de transporte. Por ende, en principio, será necesario estimar al menos tres modelos, uno para cada modo.

Los viajes a pie y en bicicleta serán calificados como viajes no motorizados, agrupación que se realiza por estar en línea con otros estudios, en la medida de que ambos tienen la característica de que para utilizarlos no es necesario consumir energía y porque la cantidad de viajes en bicicleta es bastante reducida. El transporte público, incluye ómnibus y taxi. Por último, el vehículo privado incluye tanto motos y autos. El modo de viaje que mayor cantidad de viajes tiene en la encuesta es el no motorizado, mientras que el transporte público

reales los equipamientos urbanos relevados no han sufrido cambios relevantes.

y el vehículo privado tienen casi la misma cantidad de viajes (véase la tabla 5.1).

Tabla 5.1

Cantidad de viajes por modo de transporte

Modo	Frecuencia	Porcentaje	Acumulado
No Motorizado	2320	36,42	36,42
Transporte Público	2076	32,59	69
Vehículo Privado	1975	30,9	100
Total	6554	100	

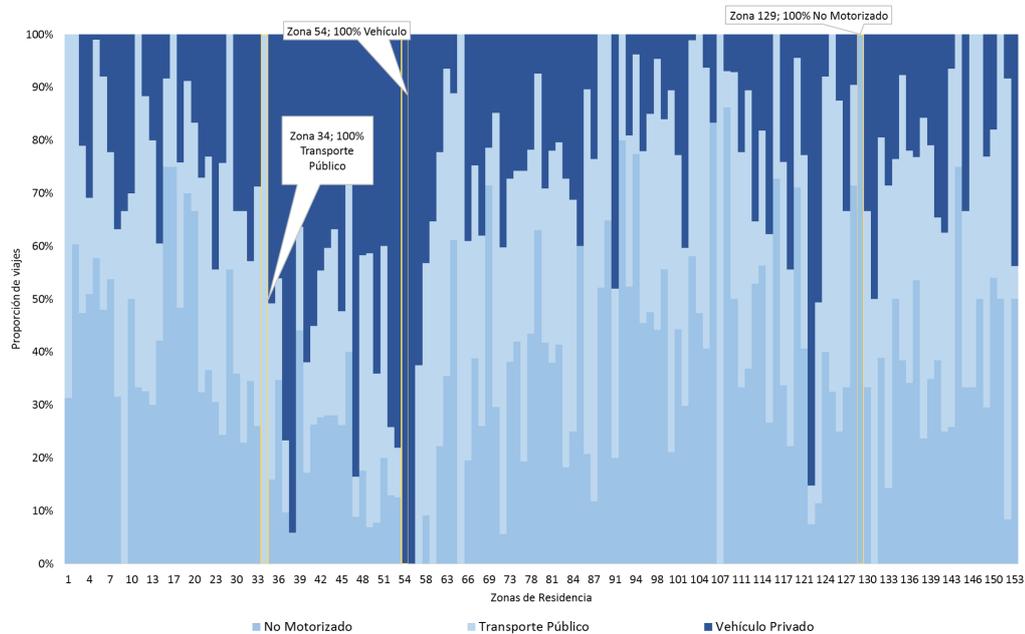


Figura 5.2. Proporción de viajes por modo de transporte y zonas de residencia.

El eje de las abscisas presenta las zonas de residencia, y el eje de las ordenadas la proporción de viaje en vehículo privado, modos no motorizados (pie y bicicleta) y en transporte público. Se subrayan las zonas donde predomina cada uno de los modos. Elaboración propia en base a los datos de la Encuesta de Origen-Destino del 2009.

Cada elección de viaje puede representarse como un evento binario para cada modo de transporte. Por ejemplo, una de las variables de respuesta (Y) refiere a la decisión de viajar en transporte público, con $Y = 1$ si se viajó en transporte público e $Y = 0$ en otro caso. En consecuencia, cada variable de respuesta sigue una distribución binomial que refieren a si: ¿usó o no un modo motorizado?, ¿usó o no el transporte público? y ¿ eligió o no el vehículo privado?

En la figura 5.2 se expone la distribución de la proporción de los modos de viaje elegidos modal por zona de residencia. A grandes rasgos es posible afirmar que la distribución modal por zona de residencia es sumamente variable, hecho que reafirma el supuesto de partida de que existe variabilidad a nivel de la zona de residencia. En la figura mencionada se indican con distintos colores las zonas de residencia que presentan como particularidad que un único modo de viaje es el predominante (o transporte público, o no motorizado, o vehículo privado). A modo de ejemplo, la figura nos muestra que en la zona de Mercado Modelo (entre las calles Av. Gral Flores, Bv. Artigas y Bv. José Batlle y Ordoñez) predomina el uso del transporte público, en la zona de Libia predominan los modos no motorizados y en la zona de Carrasco predominan los viajes en vehículo privado.

5.4. Variables de Análisis

Si bien la utilidad es inobservable existe información acerca del modo de viaje elegido y de las variables que en teoría afectan la probabilidad de elegirlo: características socioeconómicas (SE), características del viaje (T) y características del entorno construido (BE). En la elección de cualquiera de los tres modos la probabilidad de éxito se determina como se presenta en la ecuación 5.1.

$$Pr(Y = 1) = f[SE, T, BE] \quad (5.1)$$

Consecuentemente las variables explicativas se clasifican en tres dimensiones: individuales, respecto a las alternativas y las del entorno construido. En cuanto a las variables de las alternativas fue posible obtener el tiempo y el motivo (o también definido como la actividad) de viaje. El tiempo se ha medido en minutos a través del cálculo de la diferencia de tiempo entre la hora de salida del origen y la de llegada a destino. No fue posible construir la distancia de viaje, si bien se cuenta con la zona de origen y la zona de destino, no se cuenta con información de calidad de la longitud y latitud exacta del origen y del destino del viaje. El motivo de viaje refiere a la información de la actividad que realizan las personas en el destino del viaje, lo que los lleva a movilizarse. La encuesta permite elegir entre las siguientes opciones: i) hogar, ii) trabajo, iii) trámites de trabajo, iv) trámites personales, v) estudios, vi)

compras, vii) asistencia médica/dental, viii) entretenimiento, ix) ir a comer, x) dejar/recoger niños en el colegio, xi) recoger a alguien, xii) visitar a alguien, xiii) acompañar a alguien, y finalmente ix) otros. En el presente trabajo se definen las siguientes categorías (véase la tabla 5.2):

- HBW: esta categoría refiere a los viajes que se realizan por motivo del trabajo, y desde o hacia el hogar, representan un 27 % de los viajes.
- HBNW: categoría que incluye los viajes que se realizan desde o hacia al hogar de actividades no vinculadas al trabajo, incluye viajes por estudio, salud y otros, y representa la mayor cantidad de viajes.
- NHB: viajes que se realizan por actividades no vinculadas al hogar, incluye motivos por estudio, trabajo, salud y otros. Los viajes no vinculados al hogar son la menor proporción, 13 %.

Tabla 5.2

Cantidad de viajes por motivo

	Frecuencia	Porcentaje	Acumulado
HBNW ^a	3,785	59.41	59.41
HBW ^b	1,728	27.12	86.53
NHB ^c	858	13.47	100
Total	6,371	100	

^a Viajes por motivo trabajo y desde/o para el hogar (HBW).

^b Viajes por actividades no vinculadas al trabajo y desde/o para el hogar (HBW).

^c Viajes no vinculados al hogar (NHB).

VARIABLES INDIVIDUALES

Las variables a nivel del individuo se toman de la misma Encuesta de Origen - Destino 2009 de Montevideo. Siguiendo con la literatura, las variables que se toman en cuenta son⁵:

- Tenencia de vehículo, ya sea auto o moto. La misma se expresa mediante un indicador binario que especifica si en el hogar se cuenta (o no) con algún vehículo.

⁵Si bien se incluyen varias variables de carácter sociodemográfico se podrían incluir además años de educación, ocupación, etc. En esta primera aproximación no se incluyen si bien se reconoce la utilidad de incorporarlas en la modelización más adelante.

- Edad de la persona, como una variable continua.
- Ingreso familiar, en logaritmos.
- Tamaño del hogar, representado a través de la cantidad de personas del hogar.
- Sexo de los individuos.

Tabla 5.3

Cantidad de viajes por sexo

	Frecuencia	Porcentaje	Acumulado
Mujer	3.455	52,72	52,72
Hombre	3.099	47,28	100
Total	6.544	100	

Tabla 5.4

Cantidad de personas con vehículo en el hogar

Posee Vehículo	Frecuencia	Porcentaje	Acumulado
No (0)	2,847	44.69	44.69
Si (1)	3,524	55.31	100
Total	6,371	100	

Tabla 5.5

Proporción de viajes por modo y tenencia de vehículo

	NoMotorizado	TransportePublico	VehiculoPrivado	Total
0	1,462	1,258	127	2,847
1	858	818	1,848	3,524
Total	2,320	2,076	1,975	6,371

A través de las tablas 5.3, 5.4, 5.5 del presente capítulo y la tabla 4.1 del anexo 4 se resumen los principales descriptivos y tablas cruzadas de las variables individuales, así como de las variables de entorno construido. Como puede observarse en la tabla 5.3 hay mayor proporción de viajes de mujeres en Montevideo. El 55 % de las personas viven en hogares que tienen al menos un vehículo (véase la tabla 5.4). Como se esperaría, quienes tienen vehículo en el hogar realizan mayor cantidad de viajes en vehículo privado (aproximadamente un 52 %), aunque la cantidad de viajes en los otros modos que no utilizan vehículo privado no es depreciable (cerca de un 48 %).

VARIABLES DE ENTORNO CONSTRUIDO

Las variables formuladas para caracterizar el entorno construido se han generado a partir de cruzar la información de las ZAT de la encuesta con la información geográfica del catálogo de datos de la IM. Para ello se efectuaron los siguientes procesos generadores de datos:

- Levantar el mapa de Montevideo y las ZAT en QGIS;
- Descargar la información georreferenciada de los siguientes ítems:
 - Paradas de ómnibus.
 - Longitud de líneas de transporte.
 - Centros de educación inicial, escuelas primarias, secundaria e instituciones terciarias.
 - Comercios, hoteles, industrias y bancos.
 - Centros de salud, públicos y privados.
- Plasmar en el mapa la información georreferenciada descargada;
- Generar indicadores por ZAT de cada uno de los elementos descargados. Ello conlleva determinar la cantidad de elementos por ZAT de cada uno de los ítems anteriores;
- Construir las variables de entorno construido por ZAT;
- Vincular la zona de residencia de cada viaje-persona con las variables generadas para cada ZAT, de forma tal de construir el vínculo por zona de residencia.

El índice de entropía urbana, en el presente trabajo, será calculado para cada una de las zonas de residencia. Las zonas de residencia se definieron de acuerdo a las zonas de análisis de transporte determinadas en la encuesta de origen-destino. En total corresponden a 153 zonas de Montevideo, cada una de las cuales tienen distintas características, como población, área, servicios, etc. Los tipos de usos de suelo a considerar han sido definidos atendiendo a la especificación teórica de usos funcionales del suelo determinadas por [Rodrigue et al. \(2013\)](#), como fue mencionado en el marco teórico. Y equivale a la definición de [Walker et al. \(2015\)](#), es decir, que representen destinos de traslados para la realización de actividades. Conforme a ello se definieron los siguientes usos funcionales del suelo urbano: i) educación (primaria, inicial, secundaria, terciaria), ii) comercio, iii) industria, iv) hotel, v) financiero, y vi) salud.

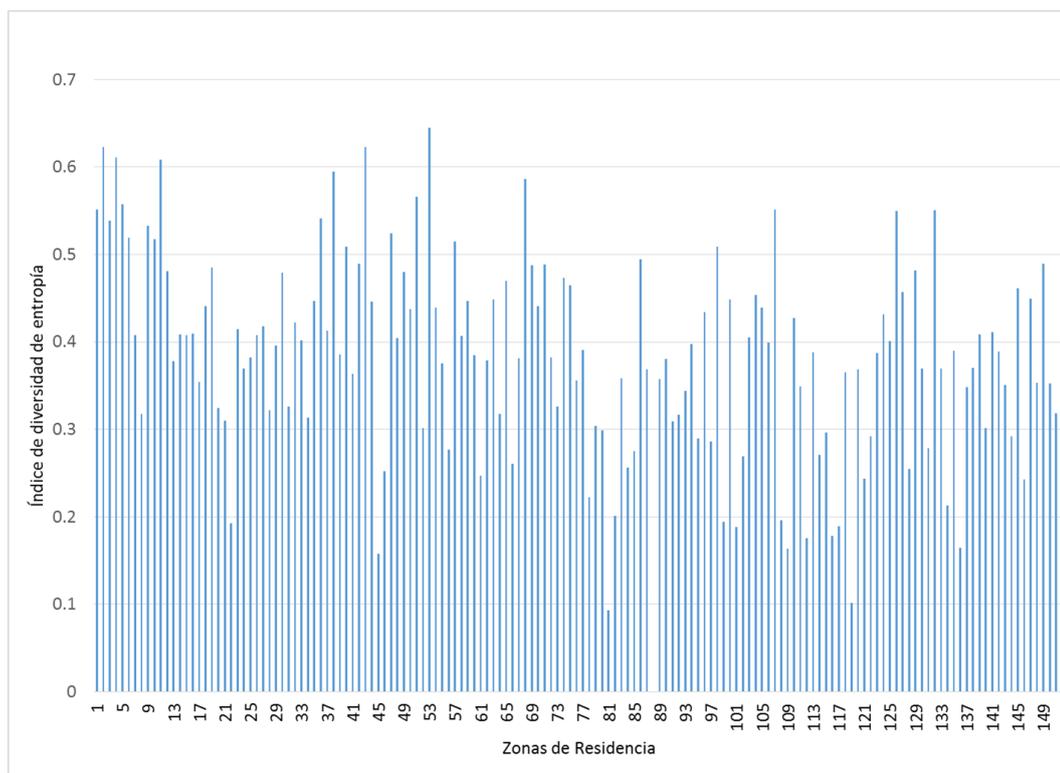


Figura 5.3. Diversidad de usos de suelo por zonas en Montevideo. El gráfico presenta los valores de diversidad de usos de suelo, por zonas de residencias, definido según el indicador de entropía urbana presentado en la sub-sección 4.2 del capítulo 4. Las zonas de residencia son las identificadas como zonas analíticas de transporte (ver anexo 1) Un mayor indicador de entropía urbana implica una mayor diversidad de usos funcionales del suelo.

En la figura 5.3 se presentan los valores de la diversidad de usos del suelo para cada una de las zonas de residencia. Para calcular la probabilidad de ocurrencia de cada uno de esos usos se tomó la información georreferenciada que brinda la IM acerca de cada uno de los servicios enumerados. Luego se contabilizó cada uno de los servicios dentro de las zonas de residencia determinadas por la encuesta de origen-destino. De esta forma es posible determinar la probabilidad bayesiana de cada uno de los usos funcionales, cumpliéndose que la suma de dichas probabilidades por zona es igual a uno. Una vez calculadas las probabilidades de cada uso es posible determinar la entropía urbana de cada zona según el índice de Shannon y Weaver (1949), como se especificó en la ecuación 4.27 en la página 44.

En la figura 5.3 se observa que hay una zona en las que predomina un solo tipo de suelo y tiene cero de entropía, y que ninguna zona llega al máximo de entropía posible, es decir, $\log(6)$ (aprox. 0,77). Por otro lado, 8 zonas tienen

valores en los 6 tipos de usos de suelo definidos, la mayoría de las zonas tienen algún centro de educación y algún tipo de local comercial, muy pocas zonas tienen hoteles y servicios financieros, y 52 zonas no tienen centros de salud. Las zonas con mayor nivel de entropía se encuentran en los barrios de Carrasco, Parque Batlle, Ciudad Vieja y Centro.

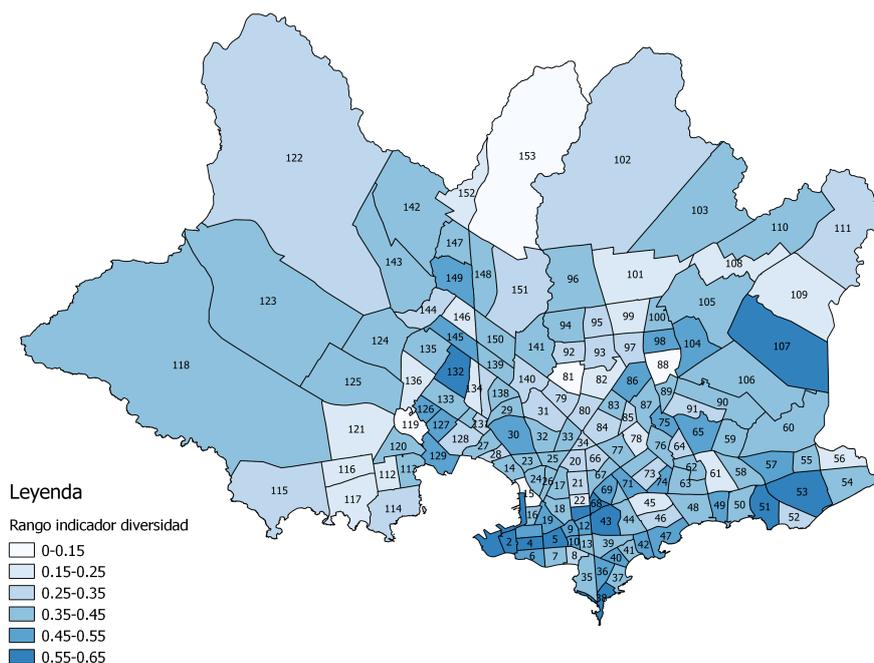


Figura 5.4. Caracterización de las zonas de residencia por diversidad de usos del suelo. La figura ilustra la diversidad de usos de suelo para cada zona de residencia, identificadas en un rango de seis niveles. Para el caso de Montevideo y según los equipamientos utilizados el menor rango de diversidad va de 0 a 0.15, y el mayor de 0.55 a 65.

Complementariamente, en la figura 5.4 se puede visualizar la distribución de la diversidad de usos de suelo en las distintas zonas. Hay una proporción mayor de zonas con diversidad media-baja (valores entre 0.35 y 0.45 del indicador), distribuidas en prácticamente todo el territorio. Existen pocas zonas que aglomeran la mayor diversidad (valores mayores a 0.55), que se encuentran principalmente en la zona central de Montevideo, y su alta diversidad se debe fundamentalmente a la presencia de centros de atención de salud. Se halló una importante cantidad de zonas que tienen muy baja diversidad de usos del suelo, menor a 0.25, que además se encuentran más alejadas del centro del departamento.

Por consiguiente, con respecto al índice de diversidad se observa que no

existen altos niveles de diversidad de servicios, es decir, que todas las zonas tienen baja diversidad de servicios. Ello podría estar alertando que cualquier persona tendría la necesidad de movilizarse fuera de su zona de residencia en el caso de buscar cualquier de los servicios básicos: educación, salud, etc.

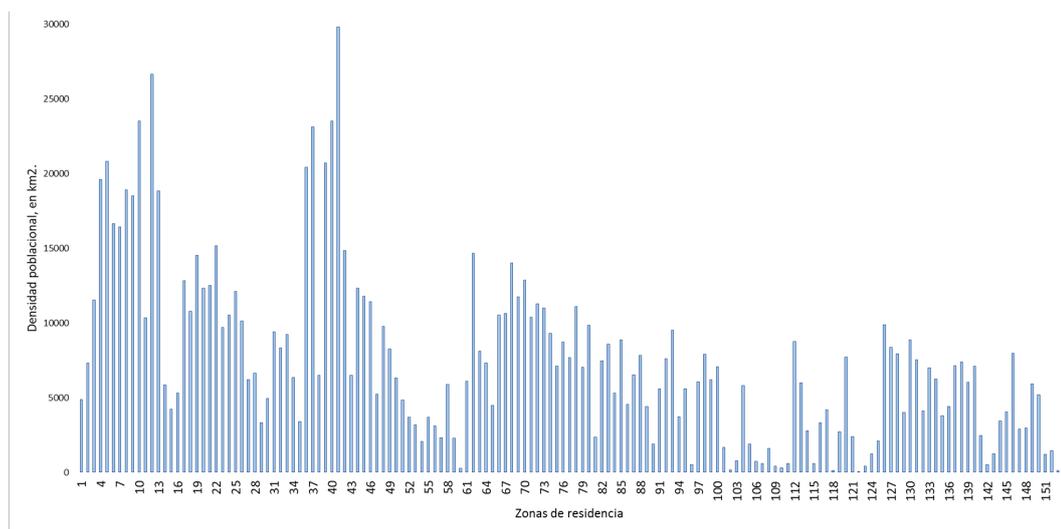


Figura 5.5. Densidad poblacional de Montevideo por zonas de residencia. La figura ilustra la distribución de la densidad poblacional en las 153 zonas de residencias, en kilómetros cuadrados. Elaboración en base a datos de la encuesta de origen-destino del año 2009, de la Intendencia de Montevideo, Uruguay.

Las zonas de residencia presentan gran variabilidad con respecto a la densidad poblacional, existen zonas con densidades por encima de los 15 mil habitantes por km², mientras que otras no superan los 40 habitantes por km² (véase la figura 5.5 y Tabla 4.1). Las zonas con mayor densidad se encuentran localizadas cerca del centro de Montevideo y de la costa este.

En cuanto a la proximidad de la infraestructura de transporte público se cuenta con dos medidas complementarias que son la cantidad de paradas y la longitud de líneas de transporte público (véanse las figuras 4.1 y 4.2 en la página 121 del anexo 4). Puede observarse la característica de monocentricidad que presenta la red de transporte público, asegurando la accesibilidad a las zonas que tienen alta diversidad de servicios (o usos de suelo funcionales).

6

⁶Se aprecia que existen zonas que prácticamente no tienen accesibilidad al transporte público, hecho que puede deberse a características geográficas como ser los bañados de Carrasco o a necesidades de mejorar la accesibilidad al transporte. Asimismo, según (Banco de Desarrollo de América Latina 1989) diferencias en el tiempo de viaje concuerdan con un modelo monocéntrico de la ciudad de Montevideo.

Capítulo 6

Resultados

El objetivo de esta parte es presentar los resultados alcanzados y su análisis a la luz de la bibliografía revisada. Se utiliza el modelo binomial logit multinivel para investigar que factores individuales y del entorno construido influyen el comportamiento de viaje de los ciudadanos de Montevideo. De esta forma se analiza la elección binaria entre: 1) usar vehículo privado y usar otros modos de transporte; 2) elegir modos no motorizados y usar otros modos de transporte; y 3) elegir el transporte público en vez de otros modos de transporte.

El método de estimación seguido en cada uno de ellos ha sido la estimación de la máxima verosimilitud con evaluación de integrales, realizando la integración numérica por medio de la cuadratura Gauss-Hermite a través del paquete Gllamm de Stata.¹ Se incluye la interpretación de los resultados a partir del análisis de los modelos de intercepto aleatorio para cada modo de transporte, de los modelos de pendiente aleatoria y un resumen final de los resultados. Los modelos de intercepto aleatorio se realizan en tres fases consecutivas, para cada modo de viaje primero se genera el modelo nulo, luego un modelo con las variables del primer nivel y, por último, se incluyen las variables del entorno, es decir las del segundo nivel en términos de los modelos multinivel.

El capítulo se organiza de la siguiente manera: en primer lugar se presentan los resultados de los modelos de intercepto aleatorio para el vehículo privado, seguido de los resultados de los modelos de intercepto aleatorio para la elección de viajes no motorizados, en tercer término los modelos de intercepto aleatorio del transporte público, en cuarto lugar los modelos de pendiente aleatoria para

¹El paquete Gllamm (Generalized Linear Latent and Mixed Models) de Stata no viene incluido en la base de este software debe ser instalado en el caso de necesitar su uso, ir a la <http://www.gllamm.org/> para conocer más de este paquete

los tres modos de viaje, y finalmente se presenta un resumen comparativo de los resultados anteriormente detallados.

6.1. Elección Vehículo privado

El primer modo de transporte analizado ha sido el vehículo privado. Para el mismo se estimó la probabilidad de elección de vehículo privado a través de modelos multinivel con intercepto aleatorio. En la tabla 6.1 se presentan los resultados para los distintos modelos de probabilidad de elección de vehículo privado. En ella se detallan los valores y nivel de significación de los efectos fijos (primer y segundo nivel), los valores de los efectos aleatorios, el test del ratio de la verosimilitud y el índice de correlación intra clase.

A continuación se detallan los resultados de los modelos de intercepto aleatorio.

Modelo Nulo

En primer lugar se estima el modelo nulo, que permite establecer si existe variabilidad por zona de residencia. La ecuación 6.1 representa la ecuación estimada. Se estiman dos parámetros: la probabilidad promedio de elegir vehículo privado β_0 y la variabilidad de la zona de residencia μ_{0j} . El término ϵ_{ij} refiere a la varianza del modelo logístico. Como se mencionó en el apartado 4 referente a la metodología uno de los supuestos importantes de esta modelización es que tanto μ_{0j} como ϵ_{ij} tienen una distribución normal, con media cero y varianza σ_μ^2 y σ_ϵ^2 respectivamente, y son además independientes. En este modelo $\hat{\sigma}_\mu^2 = 0.41$ es la variabilidad por zona de residencia.

$$\log\left(\frac{\pi_{ij}}{1 - \pi_{ij}}\right) = -0.85 + \mu_{0j} + \epsilon_{ij} \quad (6.1)$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.41)$$

Los valores estimados que se presentan en la tabla 6.1 representan las probabilidades de éxito, dado x_i , al aplicar la inversa de la función de enlace (logit). En el modelo nulo cuando se aplica la inversa de la función enlace al intercepto fijo se obtiene la probabilidad promedio de elegir viajar en vehículo privado. La ecuación 6.1 paralelamente muestra la ecuación de estimación según la función de enlace. El intercepto estimado para el modelo nulo es -0.85. Para

Tabla 6.1

Resultados estimaciones modelos intercepto aleatorio vehículo privado

	Modelo	Modelos mixtos		
	Nulo	(1)	(2)	(3)
Efectos Fijos				
Intercepto	0.4277***	0.0003***	0.0003***	0.0003***
<i>Variables Primer Nivel</i>				
Tiempo (en minutos)		0.9774***	0.9774***	0.9775***
Edad (continua)		1.019***	1.018***	0.9816***
Sexo				
Mujer	Referencia			
Hombre		2.099***	2.086***	2.085***
Personas en Hogar		0.8768***	0.8883***	0.8883**
Log Ingreso Familiar		1.446***	1.425***	1.434***
Tenencia de Vehículo		23.03***	23.70***	23.66***
Motivo				
HBNW	Referencia			
HBW		1.466*	1.489*	1.491**
NHB		2.036***	2.078***	2.089***
<i>Variables Segundo Nivel ^a</i>				
Longitud línea de Transporte Público /área.				
Densidad Poblacional Cantidad de paradas Paradas/area				1.06E-08
Paradas/densidad				
Diversidad de Usos			0.7048	0.7761
Efectos Aleatorios				
<i>Intercepto</i>				
Nivel 1	3.2899	3.2899	3.2899	3.29
Nivel 2	0.4166	0.2204	0.3081	0.3126
<hr/>				
ICC	11.2 %	6.3 %	8.6 %	9 %
LR test				
Grados de libertad	1	7	1	1
Chi2	878556***	574349.15***	2938.98***	1831.04***

Los valores estimados se presentan en términos de los odds relativos.

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

^a La significación de las variables del segundo nivel se realiza mediante el test del ratio de la verosimilitud.

calcular la probabilidad promedio de elegir viajar en vehículo privado se aplica entonces la inversa de la función logit, de forma tal que $30\% = \frac{1}{1+\exp(0.85)}$. Es decir que el 30% de las veces es elegido el vehículo privado como medio de viaje en vez de ir en transporte público o en un medio no motorizado. El coeficiente de correlación intraclase, que es un 11.2%, representa la contribución del nivel de la zona de residencia en la varianza total del uso del vehículo privado. La misma se calcula a través del ratio de la varianza de la zona sobre la varianza total:

$$ICC = \frac{\mu_{0j}}{\mu_{0j} + \epsilon_{ij}} = \frac{0.41}{0.41 + 3.29} = 11.2\% \quad (6.2)$$

La contribución de la zona de residencia a la varianza total del uso del vehículo privado es similar a la que estiman Kim y Wang (2015), 12.3% en el caso del modelo nulo.

Si bien la probabilidad media de elegir vehículo privado es de 30%, la probabilidad de elegir el mismo en una determinada zona varía según μ_{0j} . En la figura 6.1 se presentan las predicciones de dicha probabilidad para cada zona de Montevideo², ordenado por probabilidad. Se advierte que una cantidad importante de zonas, 23, prácticamente no utilizan el vehículo privado para sus viajes cotidianos, mientras que por el otro lado hay un conjunto de 10 zonas donde más del 80% de las veces viajan en vehículo privado.

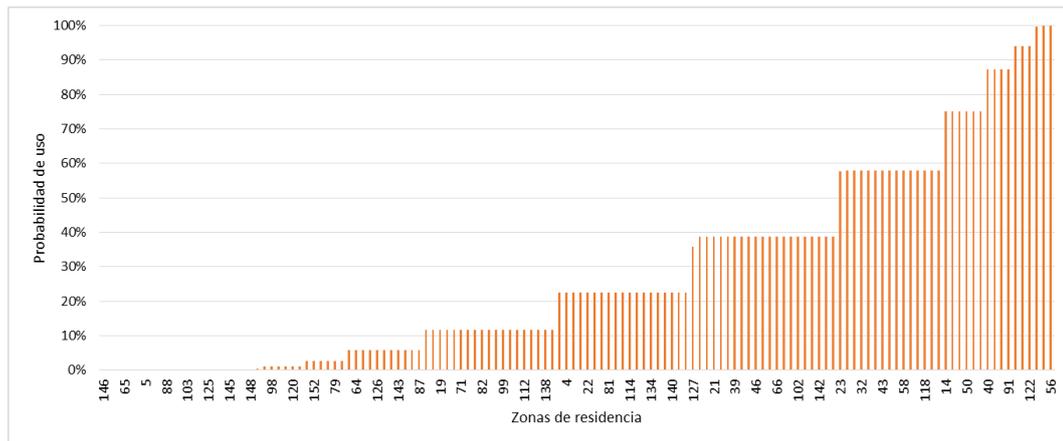


Figura 6.1. Probabilidad de emplear vehículo privado. En el eje de las abscisas se presentan las zonas de residencia y en el eje de las ordenadas la probabilidad de emplear vehículo privado en cada una de ellas. Elaboración propia en base a los resultados del modelo nulo.

²En el anexo 1 se presenta la identificación de las zonas analíticas de transporte utilizadas para definir las zonas de residencia.

El modelo nulo del vehículo privado permite observar la probabilidad promedio de que una persona elija el vehículo privado. Además permite determinar si la misma varía para cada zona de residencia y conocer los efectos de las variables de entorno construido sobre este segundo nivel de análisis que son las zonas. Ninguna zona tiene la probabilidad promedio de 30% de elegir el vehículo privado. Hay 84 zonas por debajo del valor promedio, y el cambio de la probabilidad, o la tasa de variación de la función generada tiene una forma escalonada. El hecho de que algunas zonas de residencia tengan baja probabilidad de elegir vehículo privado resulta una oportunidad para generar políticas públicas que aumenten el uso de otros modos de viaje. No ocurriría lo mismo en zonas donde más del 80% de las veces se elige el vehículo privado como medio de transporte, en dichas zonas podrían fracasar políticas de estímulo al uso de modos de viaje diferentes al vehículo privado. La forma escalonada de la probabilidad de elegir vehículo privado puede deberse a un importante efecto de segmentación del ingreso.

Modelo mixto con variables del individuo (primer nivel)

En el modelo mixto (1) de la tabla 6.1 se agregan las variables individuales las cuales ajustan la probabilidad promedio de elegir vehículo privado (véase la segunda columna de la tabla 6.1). En la ecuación 6.3 se presentan los resultados estimados.

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & -8.27 - 0.02Tiempo_{ij} - 0.01Edad_{ij} + 0.74Hombre_{ij} \\ & - 0.13PersonasenHogar_{ij} + 0.37LIng_{ij} + 3Teneciavehiculo_{ij} \\ & + 0.38HBW_{ij} + 0.71NHB_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij} \end{aligned} \tag{6.3}$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.22)$$

En las tablas de resultados de las estimaciones de todos los modelos, como la tabla 6.1, se presentan los valores de los coeficientes en término de los odds ratios. El odd ratio es una medida de la fortaleza de la relación entre la variable respuesta y la variable explicativa, dadas todas las demás variables. Un odd ratio de valor uno señala ausencia de asociación entre la variable respuesta, de elección de vehículo privado, y la variable explicativa. Valores de los odds

ratios menores a uno señalan un efecto negativo de la variable explicativa y mayores a uno un efecto positivo, cuando mayor es el valor mayor es la fuerza de la asociación. Por ese motivo en el caso de odds ratios menores a uno es preferible calcular la inversa.

Como puede observarse la probabilidad de elegir vehículo privado está significativamente relacionada con la edad, el sexo, el ingreso familiar, la cantidad de personas en el hogar, la tenencia de vehículos y los motivos de viaje. Controlando por las demás variables, los hombres tienen mayor probabilidad de elegir vehículo privado que las mujeres, cerca de un 68 % o lo que es equivalente $\exp(0.74) \simeq 2.09$ odds veces más que las mujeres³.

En cuanto a los motivos de viaje, los individuos que realizaron actividades no vinculadas al hogar o al trabajo tienen mayor probabilidad de elegir vehículo privado, que quienes viajan por actividades vinculadas netamente al hogar y actividades vinculadas al hogar y al trabajo. Manteniendo constante los otros predictores del modelo y el efecto aleatorio μ_{0j} , las probabilidades esperadas de elección del vehículo privado de una persona que va del trabajo al hogar o del hogar al trabajo (HBW) son $\exp(0.38) = 1.46$ veces más los odds de uso de vehículo privado que en el caso de que su motivo de viaje no estuviese vinculado al trabajo, pero si al hogar (HBNW). Bajo los mismos supuestos, si se trata de viajes no vinculados al hogar (NHB), la probabilidad esperada de uso del vehículo privado es $\exp(0.71) \simeq 2.03$ veces más que si son viajes vinculados al hogar pero no al trabajo (HBNW). Finalmente, si se compara los motivos NHB y HBW, es decir los viajes hogar-trabajo (trabajo-hogar) con los viajes no originados en hogar, este último motivo aumenta su odds ratio en $\exp(-0.38 + 0.71) \simeq 1.39$ veces que el otro.

La posibilidad de elegir vehículo aumenta con la edad y el logaritmo del ingreso familiar. Al agregar un año más de edad, aumenta el ratio log-odds en términos de su coeficiente asociado. Por su parte, el odds ratio de la propensión de uso del vehículo privado correspondiente a un peso más de ingreso familiar es de $\exp(0.37) = 1.44$ odds más.

Por otro lado la probabilidad de elegir vehículo baja cuando aumenta el tiempo de viaje y cuando aumenta la cantidad de personas que constituyen el hogar del individuo. Asimismo, el odd ratio del tiempo es de $\exp(-0.02) = 0.98$, la inversa del odd ratio es $\frac{1}{0.98} = 1.02$, es decir cada vez que aumenta el

³ Asimismo la probabilidad de elegir viajar en vehículo es mayor para quienes tienen vehículo.

tiempo en un minuto la probabilidad cae un 2 %. Por último, cuando aumentan la cantidad de personas que constituyen el hogar del individuo la probabilidad de uso del vehículo privado cae un 13 %, pues su odd ratio es de $exp(-0.13) \simeq 0.87$, la inversa del odd ratio es de $\frac{1}{0.87} = 1.13$.

Al incluir las variables individuales se ajustan las varianzas de los dos niveles, y se puede observar a través del ICC que la explicación de la variabilidad por parte de las zonas de residencia disminuye. Ello sugiere que alguna de las variables individuales podría tener cierta incidencia de la zona de residencia.

El test del ratio de la verosimilitud se emplea para testear la significación de los efectos aleatorios del modelo y determinar su bondad de ajuste. El estadístico utilizado en la prueba requiere comparar las log-verosimilitudes de los dos modelos que se comparan (restringido y no restringido). Luego el mismo es contrastado con una chi-cuadrado de q grados de libertad, donde q es la diferencia entre el número de parámetros de los dos modelos comparativos. De esta forma es posible determinar que el modelo con las variables individuales tiene mejor bondad de ajuste que el modelo nulo.

Modelos mixtos con variables del entorno construido (segundo nivel)

El tercer paso fue agregar las variables de entorno construido en la modelización para el vehículo privado. Se observa que luego de agregar las variables del segundo nivel, del entorno construido, se mantienen la significación y los efectos de las variables individuales.

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & -8.27 - \mathbf{0.35IH}_j - 0.02Tiempo_{ij} - 0.01Edad_{ij} + 0.74Hombre_{ij} \\ & - 0.13PersonasenHogar_{ij} + 0.37LIng_{ij} + 3.1Teneciavehiculo_{ij} \\ & + 0.38HBW_{ij} + 0.71NHB_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij} \end{aligned} \tag{6.4}$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.30)$$

$$\begin{aligned}
\log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & -8.27 - \mathbf{0.25IH}_j - \mathbf{18.3Paradas}_j - 0.02Tiempo_{ij} - 0.01Edad_{ij} \\
& + 0.74Hombre_{ij} - 0.13PersonasenHogar_{ij} + 0.37LIng_{ij} \\
& + 3.1Teneciavehiculo_{ij} + 0.38HBW_{ij} + 0.71NHB_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij}
\end{aligned} \tag{6.5}$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.32)$$

El método de modelado involucró realizar un procedimiento escalonado que requirió comparar distintos modelos agregando paso a paso cada una de las variables del segundo nivel, del entorno construido. Se presentan aquellos modelos que conformaron buena bondad de ajuste según el ratio de la verosimilitud, mientras que se excluyeron los modelos que el test no dio significativo al 5 %, al comparar el modelo restringido con el no restringido⁴.

En ese sentido en las ecuaciones 6.4 y 6.5 se exponen los resultados de las estimaciones conformes a los modelos obtenidos, los valores de las mismas se hayan en términos de los log-odds según se muestra. En la ecuación 6.4 se presenta el modelo con la variable de diversidad de usos del suelo. Y en la ecuación 6.5 se presenta el modelo con las dos variables significativas de entorno construido. Igualmente en la tabla 6.1 se exhiben los resultados en términos de la probabilidad esperada, es decir que se aplica la función de enlace a cada coeficiente $\left(\frac{1}{(1+\exp(\text{coef}))}\right)$.

Como puede observarse, tanto en las ecuaciones como en la tabla mencionada, los modelos resultantes incluyen como variables del entorno construido a la diversidad de usos del suelo y a la cantidad de paradas por zona de residencia. Las demás variables, como ser la densidad poblacional y la longitud de líneas de transporte público, no resultaron significativas.

Con respecto a la interpretación de los resultados, a diversidad de usos de suelos funcionales baja la probabilidad de elegir vehículo privado, lo mismo

⁴En un primer paso, se entiende como modelo restringido al modelo mixto que sólo incluye las variables individuales que resultaron significativas, mientras que el modelo no restringido es aquel que introduce alguna de las variables de entorno construido. De resultar ganado el modelo no restringido, en el segundo paso, se procede a agregar una segunda variable de entorno construido y realizar el test del ratio de verosimilitud contra el restringido de este caso. Que equivale al modelo ganador de la etapa anterior. De no resultar ganador el modelo no restringido se conduce a testear la significación de un nuevo modelo y una nueva variable. Y así sucesivamente.

ocurre a mayor densidad de paradas en la zona de residencia, aunque el efecto de la misma es bastante pequeño. Si se considera a dos personas que sólo difieren en cuanto a la zona de residencia en la que vive, tendrá mayor propensión a utilizar el vehículo privado como modo de viaje cotidiano aquella que tenga menos diversidad de usos funcionales del suelo en su zona. Referente a la cantidad de paradas, tendrá menor propensión a elegir el vehículo privado aquella persona que disponga de más cantidad de paradas de ómnibus en su zona de residencia.

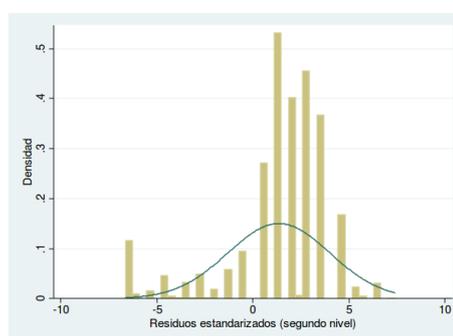
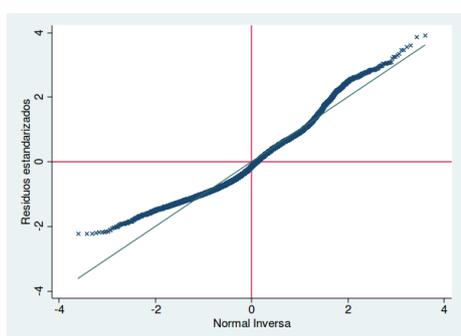


Figura 6.2. Residuos totales del modelo multinivel del vehículo del privado. El gráfico presenta la comparación entre la distribución inversa de una normal estándar y la distribución de los residuos totales del modelo mixto 2 para el vehículo privado, ver tabla 6.1.

Figura 6.3. Residuos del segundo nivel modelo multinivel del vehículo privado. En el gráfico se contrasta el histograma de los residuos estandarizados del segundo nivel (mixto 2, ver tabla 6.1) contra una normal estándar.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que los resultados generales de los dos modelos son similares y comparables, y que el efecto de la cantidad de paradas es mínimo, se presenta la evaluación del modelo que contiene en el segundo nivel sólo a la diversidad de usos del suelo como variable explicativa. Cabe señalar que en el análisis de los residuos totales se encuentra que éstos se alejan en una de colas de una distribución normal (véase las figuras 6.2 y 6.3), aunque la media de los residuos es cero. En cuanto a los residuos del segundo nivel también se observa que están centrados en cero pero mantienen una cola a la izquierda de su distribución.⁵

Una de las zonas que presenta mayor probabilidad de elegir vehículo privado es en la que se conjugan dos grandes efectos: altos ingresos y baja diversidad

⁵Estos resultados también podrían estar afectados por outliers, el tratamiento que se realizó en la base de datos ha sido simplemente quitar los NAs (datos faltantes) considerando que eran muy pocos.

de usos (como la zona de Carrasco). En estos casos, donde la diversidad de la zona es baja, la probabilidad de elegir vehículo privado es alta y los ingresos de los hogares son altos, una política urbana interesante podría ser apoyar el desarrollo de comunidades suburbanas completas con vecindarios de uso mixto. Por otro lado, dado el efecto de ingresos una política de pricing a la cantidad de kilómetros recorridos estaría enviando un estímulo negativo a vivir en zonas alejadas del lugar de trabajo, o bien de realizar dichos viajes en vehículo. Ese tipo de políticas supone no sólo agregar un sobrepeso por kilómetros recorridos sino tener en cuenta el tamaño de los vehículos y la ocupación del mismo.

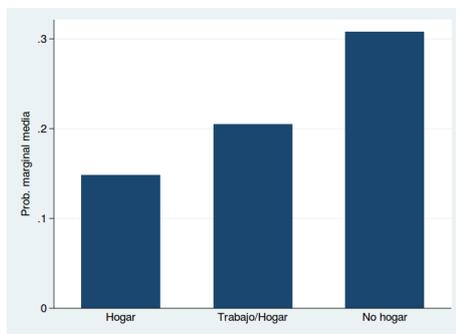


Figura 6.4. Probabilidad marginal vehículo privado y motivo de viaje. Se representa la relación entre la probabilidad marginal de uso del vehículo privado y los motivos de viaje. En el eje de las abscisas se representan las tres categorías definidas como motivos de viaje, mientras que en el eje de las ordenadas se representan las probabilidades obtenidas dependiendo del motivo, a partir de las predicciones del modelo mixto 2. Fuente: Elaboración propia.

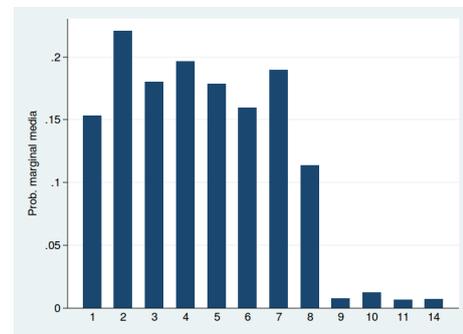


Figura 6.5. Probabilidad marginal vehículo privado y tamaño del hogar. La gráfica representa la relación entre la probabilidad marginal de uso del vehículo privado y el tamaño del hogar. En el eje de las abscisas se indican el tamaño del hogar como la cantidad de personas en el mismo, en el eje de las ordenadas se establece la probabilidad marginal de uso del vehículo privado para cada tamaño.

Se puede observar en la figura 6.4 que el modelo mantiene las características subrayadas en el apartado anterior. Los viajes en vehículo privado se realizan en mayor parte por motivos no vinculados al hogar, o aquellos que relacionan el hogar con el trabajo. También se deduce al visualizar la figura 6.5 que la probabilidad de elegir vehículo privado decrece con el aumento de la cantidad de personas por hogar. En la figura 6.6 se puede observar que arriba de cierto nivel de probabilidad la relación con la edad es creciente. Mientras que por debajo de dicho nivel la probabilidad prácticamente no se ve afectada por la edad. En el caso de políticas públicas enfocadas en la movilidad de ciertos grupos etarios sería apropiado categorizar la variable *Edad*. Finalmente en la

figura 6.7 se presenta la relación entre la probabilidad marginal y el ingreso del hogar, diferenciando entre los hogares que tienen vehículo y los que no. Si bien la probabilidad aumenta con el ingreso, tiene mayor pendiente en el caso de los hogares que tienen vehículo privado, sea moto o auto.

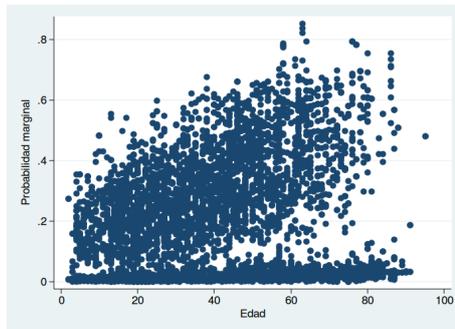


Figura 6.6. Probabilidad marginal vehículo privado y edad. En la gráfica se representan la relación entre la probabilidad marginal de uso del vehículo privado y la edad del individuo, para las predicciones del modelo mixto 2.

Fuente: Elaboración propia.

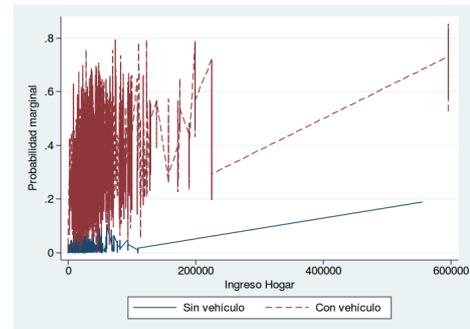


Figura 6.7. Probabilidad marginal vehículo privado, ingresos y tenencia de vehículo. Se representa la relación entre la probabilidad marginal del vehículo privado del modelo mixto 2 y los ingresos del hogar, diferenciados según si el hogar posee o no vehículo.

6.2. Viajes no motorizados: ir a pie o en bicicleta

El segundo modo de transporte analizado fue el de los viajes no motorizados, que incluye los viajes a pie y en bicicleta. Al igual que en el caso del vehículo privado se presentan los resultados de los efectos fijos y aleatorios, el test del ratio de la verosimilitud y el coeficiente de correlación intra clase, para el modelo nulo, el mixto con variables del individuo y los modelos mixtos con variables de entorno construido (ver tabla 6.2).

Modelo Nulo

Con el objetivo de medir la magnitud de variación de la elección de ir a pie o en bicicleta se estima un modelo sin predictores en ningún nivel, la ecuación de dicha estimación es la 6.6.

$$\log\left(\frac{\pi_{ij}}{1 - \pi_{ij}}\right) = -0.48 + \mu_{0j} + \epsilon_{ij} \quad (6.6)$$

Tabla 6.2

Resultados estimaciones modelos intercepto aleatorio viajes modos no motorizados

	Modelo	Modelos mixtos		
	Nulo	(1)	(2)	(3)
Efectos Fijos				
Intercepto	0.6189***	0.0352***	0.0123***	0.0222***
<i>Variables Primer Nivel</i>				
Tiempo (en minutos)		0.9303***	0.9305***	0.9307***
Edad (continua)		0.9882***	0.9872***	0.9871***
Sexo				
Mujer	Referencia			
Hombre		0.9234		
Personas en Hogar		0.9472		
Log Ingreso Familiar		0.8676**	0.8861***	0.8839
Tenencia de Vehículo		0.2242***	0.2344***	0.2283***
Motivo				
HBNW	Referencia			
HBW		0.4470***	0.4456***	0.4396***
NHB		0.4883***	0.4741***	0.4810***
<i>Variables Segundo Nivel ^a</i>				
Longitud linea de Transporte Público /área.				
Densidad Poblacional				
Cantidad de paradas				1.0008
Diversidad de Usos			0.4353	0.3256
Efectos Aleatorios				
<i>Intercepto</i>				
Nivel 1	3.2899	3.2899	3.2899	3.29
Nivel 2	0.2033	0.1665	0.3797	0.2118
<hr/>				
ICC	6 %	5 %	10 %	6 %
LR test				
Grados de libertad	1	7	1	1
Chi2	557290.93***	772028.98***	2050.44***	721.31***

Los valores estimados se presentan en términos de los odds relativos.

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

^a La significación de las variables del segundo nivel se realiza mediante el test del ratio de la verosimilitud.

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.20)$$

La estimación del modelo nulo, en primer lugar, permite establecer si existe variabilidad por zona de residencia. A través del mismo se estiman dos parámetros: la probabilidad promedio de elegir vehículo privado (β_0) y la variabilidad de la zona de residencia (μ_0). El término ϵ_0 refiere a los residuos del modelo logístico. De acuerdo con los resultados que se muestran en la tabla el intercepto estimado para el modelo nulo es -0.48, lo cual indica que la probabilidad promedio de elegir viajar en vehículo privado es de 38 %, que es igual a $1/(1+\exp(0.48))$. Es decir que el 38 % de las veces son preferidos los viajes a pie y en bicicleta en vez de ir en transporte público o en un medio no motorizado.

El coeficiente de correlación intraclase (la contribución del nivel de la zona de residencia en la varianza total del uso del vehículo privado) es un 6 %, como se muestra en la ecuación 6.7.⁶

$$ICC = \frac{\mu_{0j}}{\mu_{0j} + \epsilon_{ij}} = \frac{0.20}{3.29 + 0.20} = 6\% \quad (6.7)$$

El bajo valor del ICC indica que los efectos individuales dan mayor explicación a la varianza de la probabilidad de elegir modos no motorizados.

Si bien la probabilidad promedio estimada es de un 38 % para los viajes no motorizados, a pie y en bicicleta, existen desviaciones de la media por zona de residencia. A fines de estimar la probabilidad diferenciada por zona se calculó: $\eta_j = \beta_0 + \mu_{0j}$ para cada zona de residencia. Esto es, sin tomar en cuenta los residuos por individuo, la probabilidad media estimada por zona de residencia. Como se mencionó anteriormente se supone que μ_{0j} sigue una distribución normal con media cero y varianza de 0.20. Es posible apreciar que si bien la media está en 38 %, la probabilidad varía entre 0 y 1, más del 40 % de las zonas superan una probabilidad de viajes no motorizados de 0.4. Cerca de 10 zonas no realizan prácticamente viajes a pie o en bicicleta. Si bien en la gráfica de la figura 6.8 se percibe una forma escalonada como en el caso del vehículo privado los escalones son más pequeños.

⁶El cálculo del coeficiente de partición de la varianza es difícil de realizar en modelos binarios debido a las diferentes escalas en las que la varianza del nivel 1 y el nivel 2 son medidas, debido a la función de enlace. En el presente caso se toma como varianza del nivel la de una distribución logística estándar, tal como lo hacen Kim y Wang (2015). Para una mayor especificación de cómo estimar la misma véase Browne (2011).

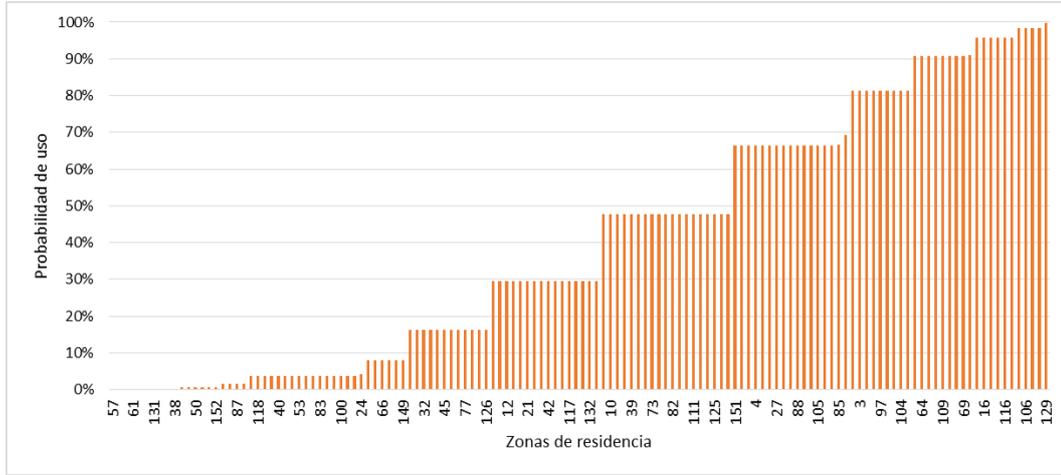


Figura 6.8. Probabilidad de emplear medios no motorizados, modelo nulo. En el eje de las abscisas se representan las zonas de residencia y en el eje de las ordenadas la probabilidad de uso de modos no motorizados. Elaboración propia en base a las predicciones del modelo nulo representado a través de la ecuación de estimación 6.6.

Modelo mixto con variables del individuo (primer nivel)

Como se realizó en el caso del vehículo privado se agregan las variables individuales del primer nivel. En la ecuación 6.8 se presentan los parámetros estimados.

$$\begin{aligned}
 \log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & 3.34 - 0.072Tiempo_{ij} - 0.01Edad_{ij} + 0.08Hombre_{ij} \\
 & + 0.05PersonasenHogar_{ij} - 0.14LIng_{ij} - 1.49TenenciaVehiculo_{ij} \\
 & - 0.8HBW_{ij} - 0.71NHB_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij}
 \end{aligned}
 \tag{6.8}$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.16)$$

Las variables sexo y cantidad de personas en el hogar resultaron no significativas al 10%. Mientras que la variable ingreso (en logaritmos) se encuentra justo en el límite de significación. La probabilidad de elegir modos no motorizados está significativamente relacionada con la edad, la tenencia de vehículos, el motivo de viaje y el tiempo.

La probabilidad de elegir viajar en modos no motorizados es menor para quienes tienen algún tipo de vehículo (moto u auto), y cae con la edad y el logaritmo del ingreso familiar. El tiempo de viaje es un costo para los viajes no motorizados, la probabilidad baja cuando aumenta el tiempo de viaje. La actividad o motivo de viaje también juega un rol importante en afectar la elección

modal de las personas. Los viajes no motorizados son más probables que se encuentren vinculados a actividades del hogar y no al trabajo o actividades fuera del hogar. Al agregar las variables individuales el índice de correlación intra clase permanece prácticamente en el mismo valor, de 6 % para a 5 % porque disminuye la variabilidad estimada para la zona de residencia. El test del ratio de verosimilitud permite afirmar que el modelo con las variables individuales tiene mejor bondad de ajuste que el modelo nulo.

Modelo mixto con variables del entorno construido (segundo nivel)

Para el caso de los viajes no motorizados fue posible estimar dos modelos, uno incluye sólo la diversidad de usos del suelo, y el otro agrega a la cantidad de paradas. Los resultados de las ecuaciones estimadas son los siguientes:

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & 4.4 - \mathbf{0.83IH} - 0.072Tiempo_{ij} - 0.01Edad_{ij} - 0.12LIng_{ij} \\ & - 1.45TeneciaVehiculo_{ij} - 0.8HBW_{ij} - 0.74NHB_{ij} + \mu_{oj} + \epsilon_{ij} \end{aligned} \quad (6.9)$$

$$\mu_{oj} \sim N(0, 0.37)$$

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & 3.8 - \mathbf{1.22IH} + \mathbf{0.0008Paradas} - 0.072Tiempo_{ij} - 0.01Edad_{ij} \\ & - 0.12LIng_{ij} - 1.47TeneciaVehiculo_{ij} - 0.82HBW_{ij} \\ & - 0.73NHB_{ij} + \mu_{oj} + \epsilon_{ij} \end{aligned} \quad (6.10)$$

$$\mu_{oj} \sim N(0, 0.21)$$

Las variables de entorno construido que resultaron significativas según la prueba del ratio de la verosimilitud para los viajes no motorizados fueron la diversidad de usos (o el indicador de entropía) y la densidad de paradas. Mientras que la diversidad de usos afecta negativamente los viajes no motorizados la densidad de paradas afecta positivamente la elección de los mismos. El efecto de la diversidad de usos del suelo es contrario al esperado, lo que podría deberse a la accesibilidad de ir a pie a los distintos servicios y equipamientos. Similar a la estrategia metodológica de [Reilly y Landis \(2003\)](#) se podría utilizar

otra unidad de medida para calcular distintas variables de entorno construido y definir la accesibilidad de ir a pie a los distintos servicios considerados.

En cuanto al efecto positivo de la proximidad de paradas, una posible es que la mayoría de los viajes no motorizados, y específicamente a pie, estén relacionados con viajes que supusieron más del límite de cuadras establecido por la encuesta (10 cuadras) para llegar a una parada de ómnibus. Khan et al. (2014) encuentran que alta densidad de paradas de ómnibus promueven altas tasas de generación de viajes no motorizados por día y alta probabilidad de elegir los modos no motorizados.

Es posible chequear el comportamiento de los residuos totales de la modelización y los residuos del segundo nivel, es decir de la zona. En el gráfico de los residuos estandarizados contrastados con una normal inversa se destaca que los mismos cumplen con la normalidad de los residuos (figura 6.9), con una pequeña cola a la derecha. Por ende, el análisis de los residuos totales del modelo de los modos no motorizados sugiere que mejorando las especificaciones de las variables del primer nivel se obtendrían residuos con una distribución normal, sin la cola a la derecha. El histograma de los residuos del segundo nivel muestra que aún es posible agregar otras variables del entorno construido, o de otra dimensión espacial, que permita reducir los residuos (figura 6.10). Igualmente se observa que los residuos del segundo nivel están centrados en cero y no presentan grandes colas en la distribución.

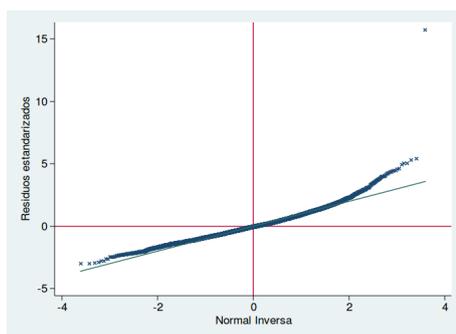


Figura 6.9. Residuos totales modelo multinivel modos no motorizados. El gráfico presenta la comparación entre la distribución inversa de una normal estándar y la distribución de los residuos totales del modelo mixto 2 (ver tabla 6.2). Fuente: Elaboración propia.

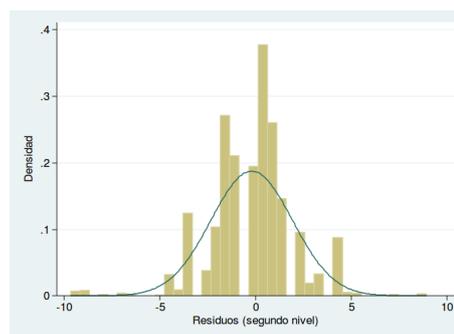


Figura 6.10. Residuos del segundo nivel modelo multinivel modos no motorizados. En el gráfico se contrasta el histograma de los residuos estandarizados del segundo nivel contra una normal estándar.

En cuanto a los efectos de las variables individuales, se destaca en primer lugar que las actividades relacionadas solamente con el hogar tienen mayor

probabilidad de uso de modos no motorizados. Los viajes del hogar al trabajo y los del trabajo al hogar son los que determinan menor probabilidad de uso de modos no motorizados (veáse la figura 6.11).

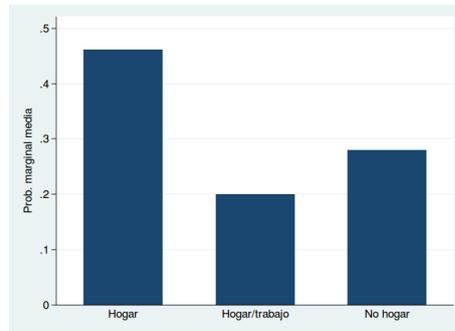


Figura 6.11. Probabilidad marginal modos no motorizados y motivo de viaje. Se representa la relación entre la probabilidad marginal de uso de los modos no motorizados y los motivos de viaje. En el eje de las abscisas se representan las tres categorías definidas como motivos de viaje, mientras que en el eje de las ordenadas se representan las probabilidades obtenidas dependiendo del motivo. Elaboración propia en base a los resultados de las predicciones del modelo multinivel mixto 2.

El tiempo de viaje (en minutos) presenta un efecto negativo en la probabilidad de uso de no motorizados e incluso un límite, prácticamente después de 100 minutos no se realizan viajes a pie o en bicicleta (ver además la figura 6.13). Ello condice con las perspectivas teóricas de que los viajes a pie a un determinado tiempo no presentan utilidad positiva para las personas.

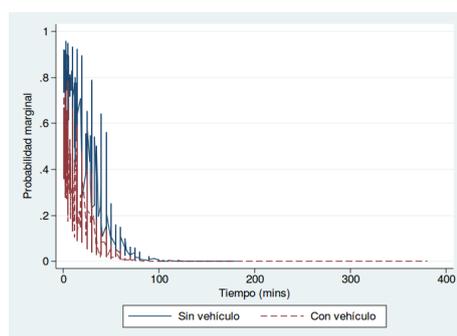


Figura 6.12. Probabilidad marginal modos no motorizados, tiempo y tenencia. Se representa la relación entre la probabilidad marginal y el tiempo de viaje, diferenciados según si el hogar posee o no vehículo, para el modelo mixto 2. Fuente: Elaboración propia.

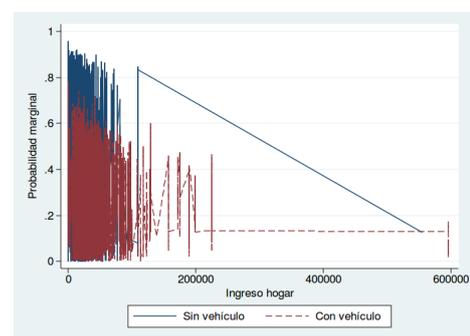


Figura 6.13. Probabilidad marginal, ingresos y tenencia de vehículo, modelo modos no motorizados. Se representa la relación entre la probabilidad marginal y los ingresos, diferenciados según si el hogar posee o no vehículo, para el modelo mixto 2.

6.3. Uso del Transporte público

El último modo de viaje analizado, de interés especial desde el punto de vista de las políticas públicas, es el transporte público. Se presentan los resultados de los tres modelos estimados para este modo de viaje en la tabla 6.3. Al igual que en los modos anteriores se estimó un modelo binomial logit multinivel.

Modelo Nulo

El modelo nulo del uso o elección del transporte público indica que aproximadamente el 31 % de las veces las personas de Montevideo eligen realizar sus viajes cotidianos en transporte público en vez de las otras dos opciones, con un nivel de significación de 99 % (véase la tabla 6.3). En la misma se detalla el efecto aleatorio del intercepto a través del coeficiente μ_{oj} que varía dependiendo de la zona de residencia. El mismo tiene una distribución normal con varianza $\hat{\sigma}_\mu^2$ igual a 1.46. El coeficiente estimado del efecto fijo del intercepto, para dicho modelo logit es de -0.81 como puede verse en la ecuación 6.11. De forma tal que para una zona con una tasa de uso "típica" del transporte público, esto es una zona con un efecto aleatorio $\mu_{oj} = 0$, el log-odds esperado de uso de transporte público es de -0.81, correspondiendo a un odds de $\exp(-0.81)$ y a una probabilidad de uso $\phi_{ij} = \frac{1}{1+\exp 0.81} \simeq 0.31$, como se mencionó arriba.⁷

$$\eta_{ij} = \log\left(\frac{\pi_{ij}}{1 - \pi_{ij}}\right) = -0.81 + \mu_{oj} + \epsilon_{ij} \quad (6.11)$$

$$\mu_{oj} \sim N(0, 1.46)$$

Es posible apreciar que dicha probabilidad "típica", asociada con un efecto aleatorio de la zona de residencia de cero, es mínimamente menor que la tasa de uso del transporte público de la población total (véase la tabla 5.1 del capítulo 5). Dicha pequeña diferencia se atribuye a la relación no lineal entre η_{ij} , los log-odds del uso del transporte público, y la probabilidad de uso ϕ_{ij} .

Para contrastar la significación del coeficiente aleatorio así como la bondad de ajuste se realiza el test del ratio de la verosimilitud del modelo nulo multi-

⁷La probabilidad de uso en este modelo logístico multinivel también puede calcularse de la siguiente forma $\frac{\exp(-0.81)}{1+\exp 0.81} \simeq 0.31$.

Tabla 6.3

Resultados estimaciones modelos intercepto aleatorio transporte público

	Modelo	Modelos mixtos	
	Nulo	(1)	(2)
Efectos Fijos			
Intercepto	0.442***	0.19***	0.12***
<i>Variables Primer Nivel</i>			
Tiempo (en minutos)		1.07***	1.08***
Edad (continua)		0.997	
Sexo			
Mujer	Referencia		
Hombre		0.56***	0.59***
Personas en Hogar		1.01	
Log Ingreso Familiar		0.99	
Tenencia de Vehículo		0.37***	0.38***
Motivo			
HBNW	Referencia		
HBW		1.62**	
NHB		0.22	
<i>Variables Segundo Nivel ^a</i>			
Longitud línea de Transporte Público /área.			
Densidad Poblacional			
Cantidad de paradas			
Diversidad de Usos			1.34
Efectos Aleatorios			
<i>Intercepto</i>			
Nivel 1	3.29	3.29	3.29
Nivel 2	1.46	0.69	1.50
ICC	31 %	17 %	31.3 %
LR test			
Grados de libertad	1	8	1
Chi2	373074.45***	777654.75***	48.44***

Los valores estimados se presentan en términos de los odds relativos.

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

^a La significación de las variables del segundo nivel se realiza mediante el test del ratio de la verosimilitud.

nivel contra un modelo logit sólo con el intercepto como variable explicativa. A través de los resultados del test es posible sostener que el modelo nulo explica mejor la probabilidad de elección (o de uso) del transporte público que un modelo logit.

La variabilidad de la zona explica el 31 % de la varianza total, siendo el modo de viaje con mayor variabilidad entre zonas. Es decir que a pesar de que en promedio el 31 % de las veces eligen transporte público dicha probabilidad de uso es diferente en las distintas zonas de residencia de Montevideo. Este resultado surge del cálculo del coeficiente intra clase como en el análisis realizado para los resultados de los modos anteriores (ver ecuación 6.12).

$$ICC = \frac{1.46}{1.46 + 3.29} = 31 \% \quad (6.12)$$

A partir de la ecuación de estimada 6.11, es posible predecir la probabilidad de uso del transporte público por zona de residencia de Montevideo.⁸

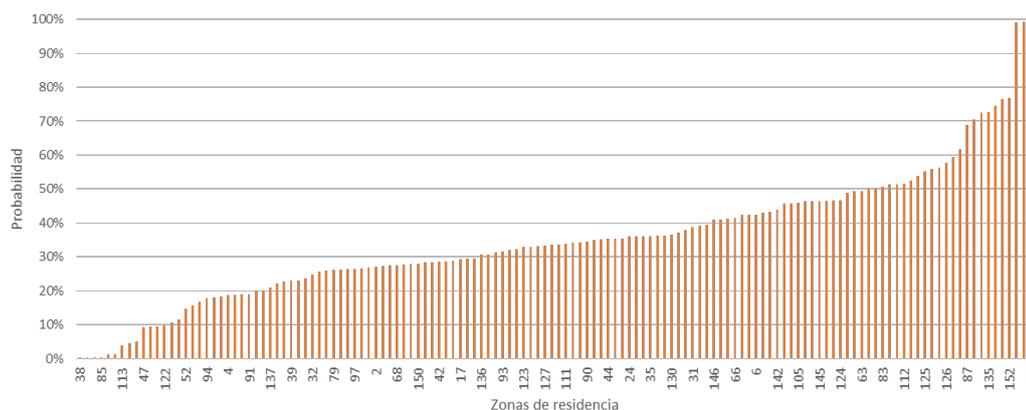


Figura 6.14. Probabilidad Marginal Transporte Público, modelo nulo. En el eje de las abscisas se representan las zonas de residencia y en el eje de las ordenadas la probabilidad de uso del transporte público, según la predicción del modelo nulo representado en la ecuación 6.11.

Las predicciones se presentan en la figura 6.14. Prácticamente todas las zonas de Montevideo tienen cierta probabilidad de elegir transporte público, a diferencia del vehículo privado donde varias zonas no tuvieron probabilidades mayores a cero. Asimismo es de peculiar atención que sólo en tres zonas se prefiera al transporte público más del 80 % de las veces (zonas 34, 65 y

⁸Tomando en cuenta el efecto fijo estimado y la variación del efecto aleatorio del intercepto, se construye la ecuación estimada, esto es $-0.81 + \mu_{0j}$, para cada zona de residencia j , con $j = 1, 2, \dots, 153$ se obtienen $\mu_{01}, \mu_{02}, \mu_{03}, \dots, \mu_{0153}$.

107, localizadas en las inmediaciones de un shopping en el barrio del Mercado Modelo, en el barrio Maroñas-Parque Guaraní y en el barrio Punta de Rieles, respectivamente).

Tabla 6.4

Zonas con probabilidad de uso del transporte público igual al promedio

Zona de Residencia	Aprox. barrio^a	Efecto de la zona	Prob. Uso del Transporte Público
50	Barrio Malvin	-0.052	30 %
102	Toledo Chico	-0.051	30 %
136	Nuevo Paris	0.002	31 %
8	Parque Rodó	0.003	31 %
21	Goes	0.034	31 %
93	Cuchilla de Legris	0.042	32 %
140	Paso de las Duranas	0.062	32 %
78	Villa Española	0.069	32 %

^a En el anexo 1 se presenta el mapa de las zonas analíticas de transporte, que conforman las zonas de residencia, y los barrios de Montevideo donde se encuentran ubicadas.

Por otro lado, hay 8 zonas con una probabilidad "típica", es decir, de un efecto aleatorio de la zona de residencia de cero, como puede verse en la tabla 6.4. Las zonas típicas presentan un resultado interesante ya que la probabilidad de uso del transporte público en las mismas es igual al promedio general, es decir que el efecto de la zona es virtualmente nulo. Además, se observa que las zonas con dicha particularidad se encuentran en barrios totalmente alejados unos de otros.

Modelo mixto con variables del individuo (primer nivel)

Para comparar la contribución del enfoque multinivel se estimó un modelo de regresión que incluye solamente las variables individuales, lo que además permite examinar el efecto de dichas variables. La ecuación 6.13 resume los resultados de las estimaciones.

$$\begin{aligned}
\log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & -1.67 + 0.070Tiempo_{ij} - 0.002Edad_{ij} - 0.58Hombre_{ij} \\
& + 0.01PersonasenHogar_{ij} - 0.01LIng_{ij} - 0.99TenenciaVehiculo_{ij} \\
& + 0.48HBW_{ij} + 0.20NHB_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij}
\end{aligned}
\tag{6.13}$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.69)$$

En primer lugar es de destacar que al agregar las variables individuales, es decir del primer nivel de la ecuación multinivel, disminuyó considerablemente el valor del ICC como se muestra en la ecuación 6.14. Más allá de que el valor del ICC haya disminuido con respecto al modelo nulo, la contribución del nivel de zona de residencia en la varianza total de la probabilidad de uso del transporte público es mayor que en los casos anteriores, es decir, los modos de transporte de los apartados anteriores. En segundo lugar, el test del ratio de la verosimilitud permite afirmar que el modelo mixto posee mejor bondad de ajuste que el modelo nulo.

$$ICC = \frac{0.69}{0.69 + 3.29} = 17.33\% \tag{6.14}$$

Resulta particularmente interesante que la edad no sea una variable significativa en la probabilidad de elección del transporte público. Ello quizás se deba a las políticas activas de subsidio a los adultos mayores y estudiantes. El sexo, sin embargo, sí afecta el modo de transporte público: las mujeres tienen mayor probabilidad de elegir el transporte público que los hombres, a diferencia de lo que ocurre con el vehículo privado. Otras dos variables que no resultaron significativas en el modelo son la cantidad de personas en el hogar y el ingreso. La tenencia de vehículos, sin embargo, es significativa y afecta negativamente el uso del transporte público⁹.

Resulta de particular interés que predominan los viajes con motivo laboral, puesto que la variable HBW resultó significativa y con un coeficiente positivo. Por su parte, el efecto del tiempo en el uso del transporte público resultó significativo y positivo. Finalmente el hecho de que sólo tres variables individuales resultaran significativas y que presente alta variación en el segundo nivel su-

⁹La tenencia en este trabajo incluye tanto motos como autos.

giere la premisa de la importancia del entorno construido sobre la elección del transporte público como modo de viaje cotidiano.

Modelo mixto con variables del entorno construido (segundo nivel)

Una vez realizado el modelo mixto, que incluye solamente las variables individuales, se estiman los efectos de las variables de entorno construido a nivel de zona de residencia (ecuación 6.15).

$$\log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = -2.1 + \mathbf{0.28IH} + 0.073Tiempo_{ij} - 0.52Hombre - 0.96TeneciaVehiculo_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij} \quad (6.15)$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 1.50)$$

El modelo fue estimado con las variables significativas del primer nivel¹⁰, y contrastado a través del ratio de verosimilitud con el modelo que no incluye ninguna variable de segundo nivel y al mismo tiempo incorpora sólo las variables significativas del primer nivel. De esta manera es posible afirmar que sólo la variable de entorno construido que utilizó un indicador de entropía resultó significativa al modelo. La cantidad de paradas, la longitud de línea de transporte público y la densidad poblacional no resultaron significativas a la luz del test del ratio de la verosimilitud.

En la columna (2) de la tabla 6.3, página 77, se pueden visualizar los resultados del modelo en cuestión. La diversidad de usos del suelo, representada por el indicador de entropía, se encuentra positivamente relacionado con el log-odds de la probabilidad de uso del transporte público, con un coeficiente estimado 0.28. Este resultado permite validar parte de una de las hipótesis de partida *H2: Mayor mix use o diversidad de usos tiene un efecto positivo sobre los viajes a pie o en bicicleta y sobre los viajes en transporte público*¹¹

¹⁰Las variables dummies de motivo o actividad referente del viaje no fueron agregadas puesto que sólo una de ellas resultó significativa y distorsionaba los resultados generales del modelo.

¹¹Otra manera de interpretar dichos resultados es que si se comparan dos mujeres, que no poseen vehículo y con un tiempo promedio de viaje, pero que residen en distintas zonas de Montevideo que difieren en una unidad en el valor diversidad de usos del suelo, aquella que resida en una zona con mayor diversidad tendrá mayor probabilidad de elección del transporte público tendrá.

(presentada en el capítulo 3, página 33).

Tomando en cuenta la desviación estándar (0.275) del coeficiente de la diversidad de usos $\exp(0.28)$, una diferencia de una desviación estándar de la diversidad de uso está asociada con una diferencia de $0.275 * 0.28 = 0.0077$ en los log-odds del uso del transporte público o un odds relativo de $\exp(0.0077) = 1.0077$. Sucesivos incrementos en la diversidad de usos del suelo, por ejemplo adicionando a una zona un uso que anteriormente no estaba (por ejemplo una sucursal bancaria o una escuela que antes no había) genera incrementos en la probabilidad esperada de elección del transporte público.

$$ICC = \frac{1.50}{1.50 + 3.29} = 31.3\% \quad (6.16)$$

En cuanto a la contribución del efecto aleatorio a la varianza total es posible afirmar que existe una variabilidad importante de la probabilidad de uso del transporte público derivada de las características de la zona de residencia, al observar el valor del ICC en la ecuación 6.16 y también en la tabla 6.3.

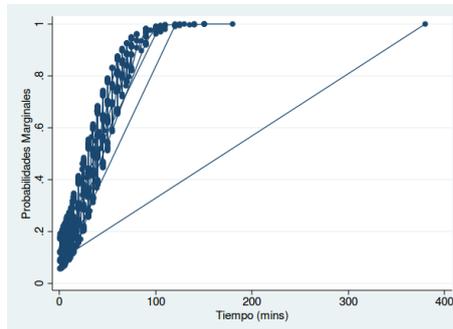


Figura 6.15. Probabilidad marginal transporte público y tiempo de viaje. Se representa la relación entre la probabilidad marginal de uso del transporte público y el tiempo de viaje. En el eje de las abscisas se representa el tiempo de viaje medido en minutos, mientras que en el eje de las ordenadas se representan las probabilidades marginales obtenidas. Elaboración propia en base a las predicciones del modelo mixto 2 del transporte público (ver tabla 6.3).

En forma similar a los resultados del modelo nulo prácticamente todas las zonas tienen una probabilidad considerada de uso del transporte público, excepto algunas pocas.

El efecto estimado del tiempo en la elección del transporte público resultó positivo, es posible observar en la figura 6.15 que si bien la probabilidad crece al aumentar el tiempo lo hace de forma decreciente. En el apartado siguiente se presentan los resultados a de las estimaciones del tiempo como pendiente aleatoria, con el objetivo de encontrar mayores explicaciones a el

efecto promedio positivo del tiempo sobre la propensión de uso del transporte público.

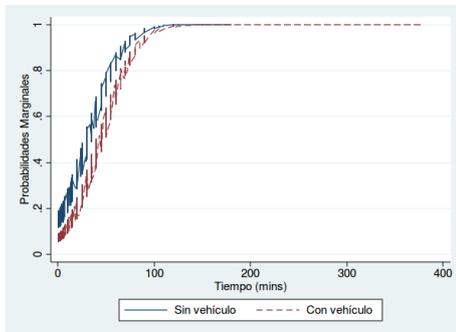


Figura 6.16. Probabilidad marginal transporte público, tiempo de viaje y tenencia de vehículos. El gráfico representa la relación entre la probabilidad marginal de uso del transporte público y el tiempo de viaje diferenciado entre tenencia o no de vehículos en el hogar, en base a las predicciones del modelo mixto2.

Fuente: Elaboración propia.

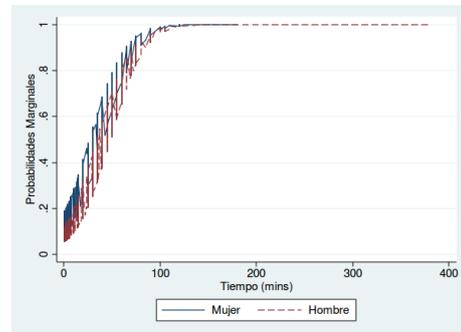


Figura 6.17. Probabilidad marginal transporte público, tiempo de viaje y sexo. A partir de las predicciones del modelo mixto 2 se representa la relación entre la probabilidad marginal de uso del transporte público y el tiempo de viaje diferenciado por sexo.

En las figuras 6.16 y 6.17 se graficó el efecto del tiempo diferenciando entre dos grupos: los que tienen vehículos de los que no, y según el sexo. Las mismas reflejan el efecto diferenciado de los coeficientes de las variables explicativas, la tenencia de vehículo baja más que proporcionalmente la probabilidad de uso de transporte público que el hecho de ser hombre.

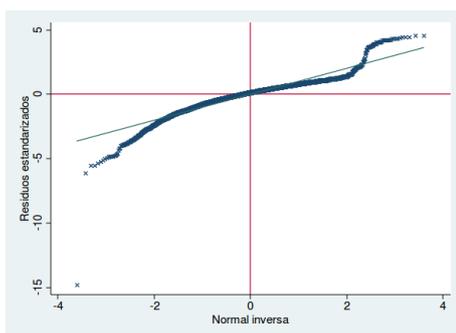


Figura 6.18. Residuos totales modelo multinivel transporte público. El gráfico presenta la comparación entre la distribución inversa de una normal estándar y la distribución de los residuos totales del modelo mixto del transporte público.

Fuente: Elaboración propia.

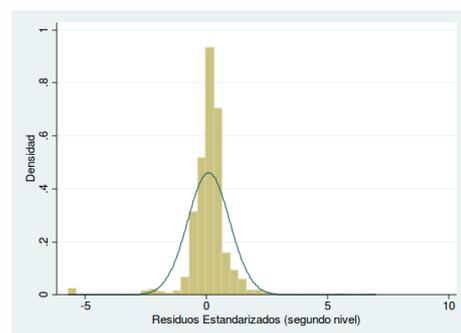


Figura 6.19. Residuos del segundo nivel modelo multinivel transporte público. En el gráfico se contrasta el histograma de los residuos estandarizados del segundo nivel del modelo mixto contra una normal estándar.

Es posible observar a través de las figuras 6.18 y 6.19 de los residuos

totales y los residuos del segundo nivel que la modelización de probabilidad de uso del transporte público requiere ajustar el nivel del individuo y el nivel del entorno construido. Si bien la media de ambos residuos es cero, su distribución no se comporta exactamente como una normal.

6.4. Un modelo de pendiente aleatoria: el efecto del tiempo

En esta sección se presentan los resultados de los modelos de pendiente aleatoria en el tiempo para los tres modos de viaje. En un modelo con pendiente aleatoria lo que se está estimando, además del intercepto aleatorio, es que el efecto del tiempo sobre la elección del modo de viaje varíe por zona de residencia. Esta modelización resulta en que existe un efecto promedio del tiempo sobre la elección y un efecto aleatorio, de la pendiente del tiempo, que depende de la zona de residencia.

El tiempo de viaje es una de las variables que teóricamente caracteriza a las alternativas de modos de viaje, y que se espera presente diferentes efectos en la utilidad del individuo dependiendo de la distribución de usos del suelo. Conforme a ello, es importante notar que, la adición de variables a nivel del individuo sustancialmente disminuyó la varianza entre zonas de residencia, al comparar con el modelo nulo. Ello sugiere que la distribución de una o más variables varía entre las zonas de residencia, un resultado esperado desde el punto de vista teórico: tanto los ingresos del hogar, la tenencia de vehículo como el tiempo podrían variar su distribución espacialmente. El tiempo promedio de viaje para la ciudad de Montevideo es de 23 minutos (ver tabla 4.1 en la página 122 del capítulo 5) y presenta una desviación estándar tan grande como el promedio¹².

Cabe agregar que, en el caso de los modelos de intercepto aleatorio para el transporte público, si bien el coeficiente positivo del tiempo fue un resultado sorprendente, puesto que contradice lo esperado teóricamente, redundaba en el interés de encontrar mayores explicaciones sobre el efecto del entorno construido. No obstante, el tiempo de viaje ha sido una de las variables que permaneció significativa en los tres modos de transporte.

En la tabla 6.5 se plasman los resultados de los modelos de pendiente

12

Tabla 6.5

Resultados estimaciones modelos con la variable tiempo de viaje como pendiente aleatoria

	Vehículo Privado	No Motorizados	Transporte Público
Efectos Fijos			
Intercepto	-11.049***	4.033***	-2.467***
<i>Variables Primer Nivel</i>			
Tiempo (en minutos)	-0.013***	-0.021***	0.170***
Edad (continua)	0.02***	-0.01***	
Sexo			
Mujer	Referencia		
Hombre	0.693		-0.558***
Personas en Hogar	-0.114**		
Log Ingreso Familiar	0.390**	-0.09**	
Tenencia de Vehículo		0.27***	0.28***
Motivo			
HBNW	Referencia		
HBW	0.460**	-0.782	
NHB	0.791***	-0.801	
Efectos Aleatorios ^a			
<i>Intercepto</i>			
Nivel 1	3.29	3.29	3.29
Nivel 2	0.506	0.130	0.142
<i>Pendiente</i>			
Nivel 1	0.0016	0.0049	0.0303
Cov	-0.003	0.0006	0.003
Cor	-0.129	0.023	0.055
ICC	31 %	17 %	31.3 %
LR test			
Grados de libertad	1	8	1
Chi2	373074.45***	777654.75***	48.44***

Los valores estimados se presentan en términos de los odds relativos.

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

^a La significación de los efectos aleatorios y de los modelos se realiza mediante el test del ratio de la verosimilitud.

aleatoria para la elección de vehículo privado, modos no motorizados y transporte público. Los modelos se estimaron a partir de la cuadratura de Gauss y contienen las variables que resultaron significativas a nivel individual para cada modo, el intercepto aleatorio y la pendiente aleatoria. De forma que, en términos predictivos, el entorno construido influye sobre la elección modal, indirectamente, a través de los distintos valores estimados por zona de residencia generados por la pendiente aleatoria del tiempo.

Los test del ratio de la verosimilitud de cada uno de los modelos se realizan comparando, para cada modo, el modelo restringido contra el no restringido. Es decir, el modelo de intercepto aleatorio mixto 1 (que solamente contiene a las variables individuales como predictores además del intercepto aleatorio, o sea que no contiene variables del entorno construido) contra el modelo de pendiente aleatoria. Dicho test permite afirmar que los modelos con pendiente aleatoria tienen mayor bondad de ajuste que un modelo de intercepto aleatorio sin variables de segundo nivel.

Ecuación estimada para la elección de vehículo privado 6.17 y la distribución de los errores son las siguientes:

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & 3.8 - 0.01[\mu_{1j} + Tiempo_{ij}] + 0.02Edad_{ij} + 0.69Hombre + 0.39LIng_{ij} \\ & + 3.2TeneciaVehiculo_{ij} + 0.46HBW_{ij} + 0.79NHB_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij} \end{aligned} \quad (6.17)$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.506)$$

$$\mu_{1j} \sim N(0, 0.001)$$

En cada una de las modelizaciones se tomó en cuenta las variables individuales que resultaron significativas según los resultados mencionados en los apartados anteriores.

Ecuación estimada para el uso de modos no motorizados 6.18 y la distribución de los errores:

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & 4.0 - 0.02[\mu_{1j} + \textit{Tiempo}_{ij}] - 0.01\textit{Edad}_{ij} - 0.09\textit{LIng}_{ij} \\ & - 1.5\textit{TeneciaVehiculo}_{ij} - 0.78\textit{HBW}_{ij} - 0.80\textit{NHB}_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij} \end{aligned} \quad (6.18)$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.130)$$

$$\mu_{1j} \sim N(0, 0.004)$$

Ecuación estimada del uso de transporte público 6.19 y la distribución de los errores:

$$\begin{aligned} \log\left(\frac{\mu_{ij}}{1 - \mu_{ij}}\right) = & -2.460.17[\mu_{1j} + \textit{Tiempo}_{ij}] - 0.55\textit{Hombre} \\ & - 1.0\textit{TeneciaVehiculo}_{ij} + \mu_{0j} + \epsilon_{ij} \end{aligned} \quad (6.19)$$

$$\mu_{0j} \sim N(0, 0.142)$$

$$\mu_{1j} \sim N(0, 0.030)$$

Los coeficientes estimados para μ_{0j} , el intercepto aleatorio, resultaron mayor para el casos de vehículo privado, prácticamente igual para los viajes no motorizados, pero menor en el caso del transporte público.

En cuanto al efecto fijo del tiempo, el efecto promedio continúa siendo negativo tanto en el modelo no motorizado, como en el de vehículo privado, y positivo en el caso del transporte público. La diferencia está en el coeficiente estimado para cada uno de los modelos, siendo mayor el efecto negativo del tiempo en los viajes no motorizados. En cuanto al efecto aleatorio, del tiempo, se observa que la mayor dispersión tiene lugar en el modelo del transporte público (el coeficiente estimado para τ_{11} resulta mayor que en los otros modelos).

La dispersión de los efectos aleatorios del segundo nivel se presenta como una matriz de varianza-covarianza:

$$\textit{Var} \begin{pmatrix} \mu_{0j} \\ \mu_{1j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tau_{00} & \tau_{01} \\ \tau_{10} & \tau_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.13 & 0.0006 \\ 0.0006 & 0.0049 \end{pmatrix} \quad (6.20)$$

La covarianza permite conocer la relación entre el intercepto aleatorio y la

pendiente aleatoria, en este caso la del tiempo. La relación es negativa en el caso del vehículo privado y positiva en los casos de viajes no motorizados y en transporte público. En el caso de covarianza positiva, como en el transporte público y en los modos no motorizados, se vislumbra que cada vez que aumenta la varianza del intercepto aleatorio, hay mayor dispersión, aumenta la varianza de la pendiente aleatoria. Valores por sobre la probabilidad media de viaje en modo no motorizado aumentan levemente la dispersión del efecto aleatorio del tiempo por zona de residencia. Por ejemplo, una zona de residencia que tiene un apartamiento de la probabilidad media de viaje de un modo tendrá también un apartamiento del coeficiente fijo estimado para la variable tiempo. En consecuencia, la variabilidad de la pendiente aleatoria estimada potencia la variabilidad del uso del modo por zona de residencia.

Por el contrario, en el modelo del vehículo privado, la covarianza es negativa, cada vez que aumenta la varianza del intercepto aleatorio cae la varianza de la pendiente aleatoria. Es decir que zonas en las que la probabilidad de elegir vehículo privado estén apartadas del promedio (efectos fijos) tendrán menor dispersión en cuanto al efecto aleatorio de la pendiente del tiempo.

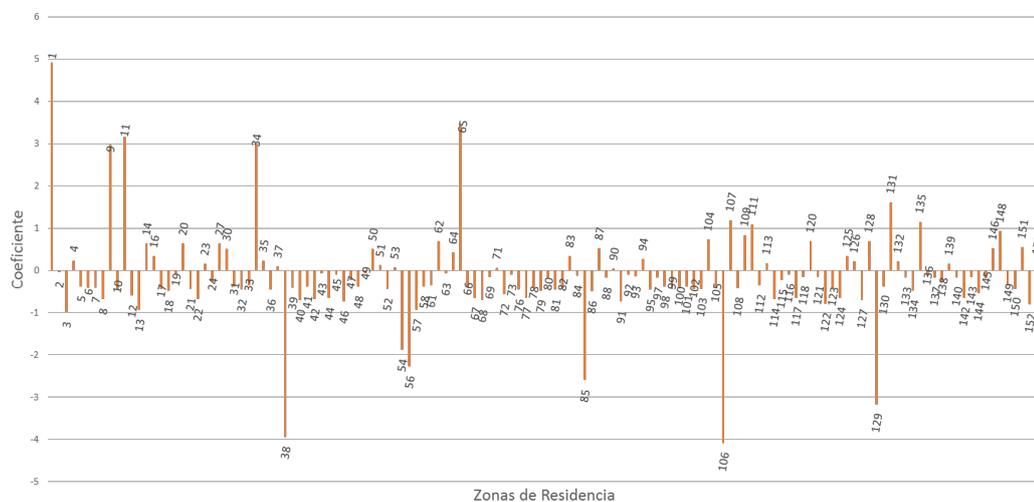


Figura 6.20. Efecto del tiempo de viaje en la propensión de uso del transporte público, por zona de residencia. En el eje de las abscisas se despliegan las zonas de residencia, ordenadas según su código de menor a mayor. El eje de las ordenadas representa los coeficientes estimados para cada zona. Elaboración propia en base a la predicción de la ecuación de estimación del modelo, 6.19, con el tiempo como pendiente aleatoria (véase la página 42 para la especificación teórica del modelo).

Como se mencionó anteriormente en el caso de los viajes en transporte público el efecto promedio del tiempo en la elección del transporte público como

modo de viaje continúa siendo positivo. Sin embargo, presenta importante variabilidad por zona de residencia (como se muestra en la figura 6.20), 95 zonas mantienen un efecto negativo del aumento del tiempo de viaje de un total de 153 zonas (un 62% de las). Zonas como Ciudad Vieja (1), antes de la zona de Tres Cruces (9), Tres Cruces (11), la zona de transporte delimitada por Av. Gral Flores, Av. José Pedro Varela, Bv. José Batlle y Ordoñez y Bv. Gral Arigas (34), y la zona de transporte entre Maroñas y Parque Guaraní (65) son las que presentan la particularidad de tener un efecto positivo importante del tiempo. Por otro lado, determinadas zonas (38, 85, 106 y 129) tienen un efecto fuertemente negativo del tiempo, pues los coeficientes estimados se encuentran visiblemente apartados del resto.

6.5. Resumen

Este último apartado compara los resultados para los distintos modos de viaje y subraya los principales hallazgos de esta investigación.

En primer lugar, al comparar los efectos fijos de los resultados de los modelos nulos es posible contrastar la probabilidad que tiene cada modo de ser elegido por los ciudadanos, a través de la tabla 6.6. Se advierte que ningún modo de transporte tiene una probabilidad mayor que 0,5, es decir, que las características de la ciudad, los hogares y los individuos no generan predominancia de un solo modo de viaje. Los modos no motorizados tienen mayor promedio de uso que el resto, seguido por el transporte público y por último los viajes en vehículo privado. Dado que hay diferencias de uso por zonas (ver figura 6.8) se podrían establecer políticas focalizadas por zona para aumentar el uso de modos no motorizados. De esta forma, desde el punto de vista de las políticas públicas, mejoras en el diseño y calidad de los equipamientos urbanos destinados al peatón y a la bicicleta mejorarían el bienestar social.

Si bien la probabilidad promedio de elegir viajar en vehículo privado es similar a la de elegir transporte público existe una diferencia importante entre las zonas de residencia. En 23 zonas la probabilidad de elegir vehículo privado resultó casi nula. Por otro lado, la probabilidad de elegir transporte público resultó nula (o casi nula) en sólo 4 zonas. A su vez, la probabilidad de elegir vehículo privado presenta una clara diferenciación por zonas de residencia, en 65 zonas se eligió en promedio menos que el 20% de las veces el vehículo privado, y hay 16 zonas que eligen el mismo más del 75% de las veces. Esta

diferenciación no es tan drástica en el transporte público, lo que podría sugerir la existencia de un efecto ingreso.

Tabla 6.6

Resumen resultados de los modelos nulos de intercepto aleatorio

	Vehículo Privado Coeficiente		Público Coeficiente		No Motorizado Coeficiente	
Efectos Fijos						
Intercepto	-0.85	***	-0.82	***	-0.48	***
nij (promedio)	30 %		31 %		38 %	
Efectos Aleatorios						
<i>Intercepto</i>						
Nivel 1	3.29		3.29		3.29	
Nivel 2	0.42		1.46		0.20	
ICC	11 %		31 %		6 %	

La tabla 6.7 resume los valores del coeficiente de correlación intra clase para los nueve modelos. Se observa que el modelo para el transporte público es el que presenta mayor variabilidad del segundo nivel, luego sigue el vehículo y finalmente los viajes no motorizados. El transporte público resultó uno de los modos de transporte con probabilidad positiva de ser elegido en la mayoría de las zonas de residencia. Ello podría sugerir que excluyendo las zonas que predomina el vehículo privado existen zonas en las cuales es posible aumentar los viajes en transporte público.

Tabla 6.7

Coeficiente correlación intraclase para los distintos modelos de los modos de viaje

Modelo	Vehículo	Transporte Público	No Motorizado
Nulo	11 %	31 %	6 %
Mixto 1	6 %	17 %	5 %
Mixto 2	8 %	30 %	6 %

Respecto a la significación de las variables del primer nivel, relacionadas con las características sociodemográficas de los individuos, se alcanzaron resultados diferentes para los tres modos de viaje, como puede visualizarse en la tabla 6.8. El primer resultado, totalmente esperado, es que la tenencia de vehículo afecta negativamente al uso de transporte público y viajes no motorizados, y positivamente al vehículo privado. También se encontraron resultados esperados en cuanto al género, mientras que los hombres tienen mayor propensión a

usar vehículo privado las mujeres tienen mayor propensión a usar el transporte público. Asimismo, los viajes no motorizados no se hallaron afectados por el sexo de la persona.

Tabla 6.8

Resultados de los efectos de las variables individuales (primer nivel) sobre la probabilidad de uso de los distintos modos de viaje

	Vehículo	Transporte Público	No Motorizado
Tenencia de Vehículo	+	-	-
Ingreso familiar	+	no sig.	-
Personas en Hogar	-	no sig.	no sig.
Sexo	Hombre	Mujer	no sig.
Edad	+	no sig.	-
Tiempo	-	+	-
Actividad	Hogar-Trabajo ^a y No Hogar ^b	Hogar-Trabajo ^a	Hogar ^c

^a Refiere a los motivos de viaje que se realizar por ir o regresar al trabajo, es decir del hogar al trabajo y/o del trabajo al hogar

^b Son las actividades no relacionadas con el hogar, puede incluir viajes desde el trabajo a cualquier destino diferente al hogar

^c Incluye actividades donde el origen o el destino es el hogar, y no involucra viajes por trabajo.

Un hecho interesante han sido los resultados en cuanto a las actividades que motivan los viajes donde se encontró un patrón diferenciado. En los viajes no motorizados predominan las actividades vinculadas al hogar pero no al trabajo. Es decir que prácticamente la gente no va al trabajo (ni vuelve de él) caminando ni en bicicleta, según los datos utilizados, sino que optan por el transporte público y el vehículo privado para realizar estos viajes. Finalmente con el vehículo privado se realizan la mayoría de los viajes que no están vinculados al hogar, pero podrían estar vinculados al trabajo.

El ingreso familiar no resultó significativo para los viajes en transporte público, sin embargo, si lo es para los viajes no motorizados y los viajes en vehículo. Aquí también se encontró un patrón diferenciado, y en línea con lo que afirman [Schafer y Victor \(2000\)](#), respecto de que que los modos no motorizados son utilizados en casos de bajos ingresos, mientras que en la medida que aumenta el ingreso aumenta el uso del vehículo privado. La edad mostró un comportamiento similar, no resultó significativa en el caso del transporte público, tiene un efecto positivo sobre el uso del vehículo y un efecto negativo en los modos no motorizados. La cantidad de personas en el hogar sólo resultó sig-

nificativa en el caso del vehículo privado, y tiene un efecto negativo sobre la propensión a usarlo.

La última variable explicativa del primer nivel es el tiempo de viaje, la cual teóricamente se encuentra directamente relacionada con el modo de viaje e indirectamente relacionado con el entorno construido de la zona de residencia. Se halló que el tiempo de viaje tiene un efecto promedio negativo para el caso del vehículo privado y los modos no motorizados, tal como se esperaba teóricamente. Mientras que en el caso del transporte público, particularmente, se encontró un efecto promedio positivo. Sin embargo, para este modo de viaje, se constató que el efecto del tiempo es diferenciado por zona de residencia. Si bien el tiempo de viaje tiene un efecto aleatorio para los tres modos, resulta de especial interés en el caso del transporte público.

Tabla 6.9

Resultados de los efectos del entorno construido sobre la probabilidad de uso de los distintos modos de viaje

	Diversidad	Densidad	Paradas	Longitud de Línea
Vehículo	Negativo	Sin evidencia	Negativo	Sin evidencia
Transporte Público	Positivo	Sin evidencia	Sin evidencia	Sin evidencia
No Motorizado	Negativo	Sin evidencia	Positivo	Sin evidencia

En cuanto al entorno construido se encontró evidencia sobre dos variables: la diversidad de usos de suelo y la cantidad de paradas (ver tabla 6.9). La cantidad de paradas, que en el sentido de [Limtanakool et al. \(2006\)](#) revela la proximidad de infraestructura de transporte público, no resultó significativa en el caso del transporte público, pero tiene un efecto negativo en el caso del vehículo privado y positivo en el caso de los viajes no motorizados. La diversidad de usos de suelo fue relevante para los tres modos de viaje, mayormente en el caso del transporte público. Se obtuvieron los efectos esperados de la diversidad en el caso del transporte público y del vehículo privado, mientras que no sucedió lo mismo en el no motorizado.

Capítulo 7

Conclusiones

En este capítulo se presentan los comentarios finales, referentes a las conclusiones que se derivan de los resultados alcanzados, a las posibilidades de extensión y a las recomendaciones de políticas de cambio modal.

El cometido de esta investigación fue aportar nuevo conocimiento acerca de la elección modal de los viajes cotidianos en la ciudad de Montevideo. En ese sentido, los modelos estimados para los tres modos de viaje estudiados mostraron una aceptable bondad de ajuste lo cual permite derivar conclusiones estadísticamente confiables a partir de las mismas. Ello permitió encontrar respuestas a las preguntas de investigación y alcanzar algunos de los objetivos específicos. Se han contrastado algunas de las hipótesis de partida, mientras que otras no, lo que amplía el horizonte para futuros trabajos.

7.1. De los objetivos, las preguntas e hipótesis

La finalidad principal de la tesis fue discriminar la incidencia de factores del entorno construido, de los socioeconómicos y de los atributos del viaje a través del desarrollo de distintos modelos multinivel, sobre la modalidad de viaje de los habitantes de Montevideo. Se han encontrado efectos significativos sobre la elección modal de las tres dimensiones de análisis en los distintos modelos analíticos especificados: características de los individuos, atributos de viaje y entorno construido. Es decir, de los factores internos al individuo, derivados de sus condiciones sociodemográficas, y de factores externos al individuo, que se manifiestan como una restricción o una oportunidad para el mismo ([Curtis y Perkins 2006](#)).

El principal hallazgo que se deriva de los resultados es que la elección de modo de transporte presenta heterogeneidad por zona de residencia y que el entorno construido influye en dicha heterogeneidad. Ello permite confirmar la hipótesis principal del análisis: el entorno construido de la zona de residencia influye sobre la elección modal. Esta influencia se plasma a través de la diversidad de usos urbanos funcionales de las zonas y de la proximidad de paradas. El efecto de la diversidad de usos es sustancialmente mayor en el caso del transporte público. De esta manera es posible responder a las preguntas de investigación establecidas: *¿Influye el entorno construido en la elección modal en Montevideo? ¿Qué variables y en qué medida?*

Adicionalmente, los modelos desarrollados permiten conocer la propensión de uso de los distintos modos, y afirmar que existe mayor probabilidad de uso de modos no motorizados (alrededor de 38%, superior a la de los demás modos). Otro punto relevante es que la heterogeneidad mencionada ha resultado diferente entre los modos de viaje. El transporte público resultó ser el modo que mayor variabilidad entre zonas presenta, los viajes en vehículo privado presentaron un nivel de correlación intra clase similar a la de otros trabajos empíricos. Para los viajes no motorizados la variabilidad entre zonas es de las menores, si bien es un efecto considerable en todas.

Además del objetivo principal y las preguntas de investigación relacionadas, se plantearon siete objetivos específicos. Uno de los objetivos específicos definidos dentro del alcance de la tesis ha sido generar un indicador de diversidad de usos del suelo como atributo del entorno construido. El indicador se creó por zona de residencia, a partir de las consideraciones teóricas de entropía urbana. Los usos de suelos funcionales, como la cantidad de centros educativos, de salud, comerciales e industriales, se conjugaron por zona determinando un valor para cada uno de ellas. Este indicador, utilizado en los modelos de intercepto aleatorio dentro del segundo nivel, resultó significativo en los tres modos de viaje analizados. Por consiguiente, se concluye que se ha avanzado en la definición del entorno construido para Montevideo y especialmente se ha construido un indicador de diversidad que puede ser adaptado para distintas unidades de análisis ¹.

En cuanto a los objetivos metodológicos, una conclusión importante, es

¹En vez de tomar las zonas analíticas de transporte se podría tomar otra división espacial o incluso determinar una medida de tiempo máximo (o distancia máxima) de recorrido a pie.

que los modelos multinivel permitieron discriminar la varianza de cada nivel, es decir, de los individuos y de las zonas. Los modelos nulos de intercepto aleatorio plasmaron la variabilidad en la elección modal inducida por la zona de residencia al ser contrastados con un modelo logit binomial clásico. Por su parte, los modelos del tiempo como variable aleatoria dejaron evidencia del efecto de la zona de residencia sobre el tiempo de viaje, fundamentalmente en el transporte público. En promedio el tiempo, tiene un efecto positivo en el transporte público, pero tiene diferencias por zonas de residencias. Mientras que en algunas tienen un efecto positivo considerable, en la mayoría de las zonas el tiempo de viaje tiene un efecto negativo sobre el uso del transporte público.

Una segunda consideración metodológica es que, en el marco de un análisis de corte transversal, ha sido posible tomar las decisiones de localización de los individuos y las empresas como exógenas a los modelos, tal como se consideró en las definiciones teóricas. Al analizar un solo momento temporal no se establecen complicaciones de endogeneidad entre las decisiones de localización y movilidad, desde el punto de vista de que son decisiones jerárquicas. Sin embargo, dada la complejidad de los fenómenos implicados, como ser las decisiones de movilidad y localización urbana, es asequible pensar en ampliar las metodologías empíricas máxime ante la posibilidad de contar con una nueva ola de la encuesta de movilidad (actualmente ya concluida pero no disponible).

Respecto de las características de la zona de residencia que afectan la probabilidad de escoger uno u otro modo de transporte, se encontró que la variedad de servicios dentro de las zonas de residencia disminuye la probabilidad de elegir vehículo privado, y aumenta la de elegir transporte público. En ese sentido, la evidencia encontrada coincide con las hipótesis planteadas. Sin embargo, en cuanto a los viajes no motorizados, el efecto de la diversidad de servicios no resultó coincidente a las hipótesis iniciales. Ello podría deberse a la inclusión tanto de los viajes a pie y en bicicleta dentro de la definición de viajes no motorizados. En un futuro trabajo sería pertinente separar estos dos modos de viaje.

El estudio no arrojó evidencia acerca del efecto de la densidad poblacional en la elección de los modos de viaje. Si se encontraron efectos de la proximidad de paradas sobre la elección modal. De forma que, con respecto a las hipótesis de trabajo planteadas se encontró que:

- Es posible confirmar la **H1**- *Variaciones en el entorno construido están*

asociadas a diferencias en el comportamiento de viaje, luego de tener en cuenta las características sociodemográficas, como se mencionó anteriormente.

- Se encontraron diferencias con respecto a la **H2**-*mayor mix use o diversidad de usos tiene un efecto positivo sobre los viajes a pie o en bicicleta y sobre los viajes en transporte público*. Si bien se encuentra evidencia de que la diversidad funcional de usos del suelo afecta positivamente al uso del transporte público, lo hace con el efecto contrario en el caso de los modos no motorizados. Ello puede deberse a que se agruparon los viajes a pie y en bicicleta dentro del modo no motorizado.
- Se ha encontrado evidencia que permite confirmar la **H3**-*Mayor mix use o diversidad de usos tiene un efecto negativo sobre los viajes en vehículo privado*. El coeficiente asociado con la diversidad de usos del suelo resultó negativo en dicho modo de viaje.
- No se encontró evidencia acerca de la influencia de la densidad poblacional sobre los modos de viaje, por lo que no es posible arrojar claridad sobre la **H4**-*Mayor densidad tiene un efecto positivo sobre el transporte público y negativo sobre el vehículo privado*.
- No se encontró evidencia de que la proximidad de paradas afecte la decisión de emplear transporte el transporte público, por ende, no es posible sostener la **H5**-*Mayor cantidad de paradas tiene un efecto positivo sobre el transporte público*. Si se encontró evidencia para los modos no motorizados y el vehículo privado. El efecto hallado es negativo para este último y positivo para el primero. Dicho efecto positivo mostró una particularidad especial de la movilidad cotidiana de los habitantes de Montevideo.
- Se encontró evidencia de que el tiempo es afectado por las características del entorno construido las zonas, presentando entonces variabilidad por zona de residencia.

7.2. Del alcance, limitaciones y extensiones

Sin dudas el trabajo actual deja puertas y ventanas sin abrir. Una forma de ampliar la investigación es simplemente agregar otras o más variables que caractericen el entorno construido, y modificar o complejizar la unidad de análisis: otras zonas o barrios. Por ejemplo, se podrían agregar variables que

tengan en cuenta el diseño a nivel local y variables que tomen en consideración la densidad de empleo, puesto que estas variables han sido señaladas por la literatura como grandes influenciadores de la elección modal (Cervero 2013; Kockelman 1997). A raíz de los resultados del presente estudio, se esperaría que la densidad de empleo tuviese mayores efectos sobre el vehículo privado y sobre el transporte público, puesto que los viajes por motivo laboral se realizan mayormente con dichos modos. Además, posibilitaría el análisis de políticas de empleo y políticas de uso del suelo como la decisión de localización de empresas. Al estilo de las políticas *A-B-C* aplicadas en Holanda (Schwanen et al. 2004).

Si bien se han encontrado respuestas a la pregunta de investigación, la pregunta de qué variables del entorno influyen y en qué medida ha quedado someramente abierta. La densidad poblacional no resultó ser una variable explicativa de la elección modal, lo cual sugiere que pueden existir más puntas desde donde establecer otras variables a nivel de la zona de residencia que afecten la elección del modo de viaje. Puede deberse a la necesidad de controlar por otras variables sociodemográficas, a ajustes necesarios en la estimación por máxima verosimilitud o bien a especificaciones distintas de las variables explicativas del segundo nivel (como el índice de diversidad de servicios y equipamientos, y la longitud de línea de transporte público). La falta de evidencia del efecto de la densidad en la elección en el caso montevideano es similar a las conclusiones que halla Cervero et al. (2009) para el caso de Bogotá.

Desde el punto de vista metodológico, y en línea con los objetivos, otras posibles extensiones serían la ampliación del modelo de pendiente aleatoria mediante la inclusión de variables de entorno construido y la estimación de un modelo multinomial multinivel.

Además de lo anterior, la literatura de carácter empírico y teórico nos anuncia que es relevante aumentar la complejidad del análisis metodológico analizando la endogeneidad de decisiones entre la elección de movilidad y la elección de locación residencial de las personas, por ejemplo, mediante la implementación de modelos multinivel de ecuaciones simultáneas, de forma de profundizar en el llamado problema de auto-selección. Ello requiere contar con otras fuentes de datos, con una ventana temporal mayor, así como adecuar las consideraciones teóricas, los objetivos e hipótesis. Una contribución metodológica interesante sería agregar rezagos espaciales, es decir, determinar si existe algún efecto de vecindad entre las zonas de residencia e incorporar el análisis de las zonas de destino.

En cuanto a los viajes no motorizados una extensión apropiada sería separar los viajes a pie de los viajes en bicicleta, no solo porque éstos han aumentado en los últimos años sino también por los resultados paradójicos. Uno de los resultados interesantes es que la cantidad de paradas resultó con efecto positivo sobre los modos no motorizados, que en cierto modo podrían competir con el transporte público. Como extensión al trabajo se podría realizar un análisis de encadenamientos de viaje para evaluar si existe complementariedad entre el transporte público y los modos no motorizados.

Por otro lado, el enfoque basado en las actividades no deja de ser un análisis fundamental y complementario que fácilmente se podría agregar. Por ejemplo, se podría hacer foco a los viajes por trabajo, a los viajes por estudio u otros. De modo de encontrar patrones sobre las decisiones espaciales de las actividades.

Una extensión concreta del presente análisis es replicar los modelos con los datos de la nueva encuesta de origen destino de la Intendencia de Montevideo, realizada en 2016. De forma de poder comparar los resultados y analizar si hubieron cambios en el comportamiento.

Un giro en el alcance del estudio sería plantear un modelo teórico de preferencias más amplio que tenga en cuenta las variables latentes de las actitudes y valores (Maat et al. 2005), que se derivan de la introducción de componentes psicológicos y sociales en materia de decisión cognitiva. Quizás el enfoque teórico más avanzado, y aplicado, sea el de Spears et al. (2013), mientras que Ben-Akiva et al. (2002b) plantea las herramientas empíricas para realizar un enfoque empírico cuantitativo.

Finalmente, es importante enfocarse en otros aspectos de la movilidad, como el tiempo de viaje, los costos, la distancia recorrida o la experiencia de las personas, puesto que son componentes fundamentales que podrían dar éxito o fracaso a cualquier política de planificación y movilidad. En cuanto a las políticas, en el presente trabajo no se ha dado espacio a las que refieren a mecanismos de incentivos o desincentivos, pricing, cambios de hábito, información, restricciones de horarios, entre otras.

7.3. De las recomendaciones de políticas

Los resultados alcanzados permiten arrojar luz sobre algunos lineamientos para las políticas públicas:

- La mayor propensión de uso de modos no motorizados ha dejado en evidencia las preferencias de las personas. Una política concreta sería mejorar el diseño para la calidad de los viajes no motorizados, lo cual permitiría aumentar el bienestar social, con un enfoque de diseño a escala humana. Para ello se debería focalizar por zonas de residencia, ya que los viajes no motorizados son principalmente iniciados desde el hogar, y tener en cuenta el factor ingresos, ya que las zonas donde se realizan más viajes no motorizados son las de menores ingresos. Un colateral es que los viajes al trabajo no se realizan en dichos modos, por lo que en una primera instancia podría pensarse en estimular los viajes en modos no motorizados por motivos diferentes al laboral.
- Debido a que la diversidad de usos del suelo afecta negativamente a la elección del vehículo privado como modo de viaje es posible plantear que el desarrollo de políticas de uso del suelo pueden lograr desestimular el uso del automóvil. Políticas de descentralización y planificación de venta minorista enfocadas a aumentar la diversidad de usos funcionales del suelo estimularían la no elección del vehículo privado en los viajes cotidianos. Por otro lado, la planificación de los centros de empleo podría tener un efecto sobre la elección modal, debido a que parte importante de los viajes en vehículo privado son por motivo laboral y porque la diversidad de usos funcionales podría encontrarse relacionada a la distribución espacial de empleo. Sin dudas, los diseños de políticas deben tener en cuenta las influencias de los factores sociodemográficos que se señalan en los resultados y que se vinculan indirectamente con las actitudes de viaje, como ser el sexo, la edad, la cantidad de personas en el hogar, el ingreso y la tenencia de vehículo.
- Asimismo, políticas de uso del suelo que redunden en incremento de la diversidad aumentan la propensión a usar el transporte público. Se supone que si las localizaciones residenciales, de empleo de servicios se encuentran más cerca entre sí entonces reducen las distancias que deben cubrirse, incrementando la población base para el transporte público. Estas políticas podrían focalizarse por zonas de residencia, debido a las diferencias en las probabilidades de uso por zonas, la variabilidad del efecto del tiempo por zonas y de la diversidad de usos de suelo. Por ejemplo, dado que algunas zonas tienen un considerable efecto negativo del tiempo de viaje (como por ejemplo la zona 129 ubicada aproxima-

damente en el barrio de La Teja y la zona 38 ubicada en el barrio de Punta Carretas), una política focalizada en disminuir el tiempo de viaje en dichas zonas aumentaría la probabilidad de uso del transporte público y aumentaría la eficiencia en el sistema.

- Si bien la accesibilidad al transporte público, como la cantidad de paradas, no afecta su propio uso si afecta al uso del vehículo privado y los modos no motorizados. Por tanto, los resultados obtenidos sugieren que la mejora en la calidad y el aumento en la cantidad de paradas incrementaría el uso de modos no motorizados y disminuiría el uso del vehículo privado.
- Específicamente, se podría aumentar la calidad del viaje a pie (y de vida) en zonas comprendidas en los barrios de Libia, La Teja, Marconi, Aguada y La Blanqueada a través de contextos amigables con los viajes a pie debido a la muy alta probabilidad de viajes no motorizados, a su vez, en la zona de La Teja y de Libia se podría aumentar el uso del transporte público si se mejoran los tiempos de viaje de dichas zonas y se aumentan la cantidad de paradas. En los barrios de Cordón Sur, La Comercial, La Unión, Cerrito, Las Acacias, Cerro y Casabó se podrían aumentar los viajes a pie y en transporte público aumentando la diversidad de usos del suelo, ya que tienen un bajo indicador y son zonas donde no predomina el vehículo privado. Además, zonas como Cordón Sur, La Unión, La Comercial y Cerrito tienen un considerable nivel de densidad poblacional lo que hace asequible la focalización del transporte público.

Este tipo de políticas no solamente permitirían alentar el uso de los modos no motorizados y el transporte público en Montevideo sino que también promoverían el desarrollo económico urbano con calidad espacial y calidad del medio en el cual se vive.

Referencias bibliográficas

- Ajzen, Icek. The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2):179–211, 1991.
- Arbués, Pelayo, Baños, José F, Mayor, Matías, y Suárez, Patricia. Determinants of ground transport modal choice in long-distance trips in Spain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 84:131–143, 2016.
- Banco de Desarrollo de América Latina, CAF. *Crecimiento urbano y acceso a oportunidades: un desafío para América Latina*. 1989.
- Banister, D. The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, 15(2):73–80, November 2008.
- Banister, David. Cities, mobility and climate change. *Journal of Transport Geography*, 19(6):1538–1546, 2011.
- Batty, M. Entropy in spatial aggregation. *Geographical Analysis*, 8(1):1–21, November 1976.
- Batty, M. *The new science of cities*. MIT Press, 2013.
- Batty, Michael, Besussi, Elena, Maat, Kees, y Harts, Jan Jaap. Representing multifunctional cities: density and diversity in space and time. *Built Environment*, 30(4):324–337, 2004.
- Batty, Michael, Morphet, Robin, Masucci, Paolo, y Stanilov, Kiril. Entropy, complexity, and spatial information. *Journal of geographical systems*, 16(4): 363–385, 2014.
- Ben-Akiva, Moshe, McFadden, Daniel, Train, Kenneth, Walker, Joan, Bhat, Chandra, Bierlaire, Michel, Bolduc, Denis, Boersch-Supan, Axel, Brownstone, David, Bunch, David S, et al. Hybrid choice models: progress and challenges. *Marketing Letters*, 13(3):163–175, 2002a.

- Ben-Akiva, Moshe, Walker, Joan, Bernardino, Adriana T, Gopinath, Dinesh A, Morikawa, Taka, y Polydoropoulou, Amalia. Integration of choice and latent variable models. *Perpetual motion: Travel behaviour research opportunities and application challenges*, pages 431–470, 2002b.
- Bhat, Chandra R. A multi-level cross-classified model for discrete response variables. *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(7):567–582, 2000.
- Bhat, Chandra R. Quasi-random maximum simulated likelihood estimation of the mixed multinomial logit model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(7):677–693, 2001.
- Bhat, Chandra R y Guo, Jessica Y. A comprehensive analysis of built environment characteristics on household residential choice and auto ownership levels. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(5):506–526, 2007.
- Bhat, Chandra R y Koppelman, Frank S. Activity-based modeling of travel demand. *Internationa series in operations research and management science*, pages 35–62, 1999.
- Bhat, Chandra R, Sen, Sudeshna, y Eluru, Naveen. 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, 2009.
- Boarnet, Marlon y Crane, Randall. The influence of land use on travel behavior: specification and estimation strategies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(9):823–845, 2001.
- Bordoloi, Rupjyoti, Mote, Amit, Sarkar, Partha Pratim, y Mallikarjuna, C. Quantification of land use diversity in the context of mixed land use. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104:563–572, 2013.
- Brown, Barbara B, Yamada, Ikuho, Smith, Ken R, Zick, Cathleen D, Kowaleski-Jones, Lori, y Fan, Jessie X. Mixed land use and walkability: Variations in land use measures and relationships with bmi, overweight, and obesity. *Health & place*, 15(4):1130–1141, 2009.
- Partitioning of variance in multilevel models, 2011.

- Brownstone, David. Methodological developments in activity-travel behavior analysis. *Travel Behaviour Research in an Evolving World*, page 249, 2012.
- Brownstone, David y Golob, Thomas F. The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption. *Journal of urban Economics*, 65(1): 91–98, 2009.
- Camagni, Roberto, Gibelli, Maria Cristina, y Rigamonti, Paolo. Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological economics*, 40(2):199–216, 2002.
- Cao, Xinyu, Mokhtarian, Patricia L, y Handy, Susan L. Neighborhood design and vehicle type choice: Evidence from northern california. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 11(2):133–145, 2006.
- Cervero, Robert. Built environments and mode choice: toward a normative framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7(4):265–284, 2002.
- Cervero, Robert y Duncan, Michael. Walking, bicycling, and urban landscapes: evidence from the san francisco bay area. *American journal of public health*, 93(9):1478–1483, 2003.
- Cervero, Robert y Duncan, Michael. 'which reduces vehicle travel more: Jobs-housing balance or retail-housing mixing? *Journal of the American planning association*, 72(4):475–490, 2006.
- Cervero, Robert y Kockelman, Kara. Travel demand and the 3ds: density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3):199–219, 1997.
- Cervero, Robert, Sarmiento, Olga L, Jacoby, Enrique, Gomez, Luis Fernando, y Neiman, Andrea. Influences of built environments on walking and cycling: lessons from bogotá. *International Journal of Sustainable Transportation*, 3(4):203–226, 2009.
- Cervero, Robert B. Linking urban transport and land use in developing countries. *Journal of Transport and Land Use*, 6(1):7–24, 2013.
- Chapin, Francis Stuart. *Human activity patterns in the city: Things people do in time and in space*, volume 13. Wiley-Interscience, 1974.

- Chapman, Lee. Transport and climate change: a review. *Journal of transport geography*, 15(5):354–367, 2007.
- Chen, Cynthia, Gong, Hongmian, y Paaswell, Robert. Role of the built environment on mode choice decisions: additional evidence on the impact of density. *Transportation*, 35(3):285–299, 2008.
- Clarke, Philippa y George, Linda K. The role of the built environment in the disablement process. *American journal of public health*, 95(11):1933–1939, 2005.
- Crane, Randall. On form versus function: Will the new urbanism reduce traffic, or increase it? *Journal of Planning Education and Research*, 15(2):117–126, 1996.
- Cullen, Ian y Godson, Vida. Urban networks: the structure of activity patterns. *Progress in planning*, 4:1–96, 1975.
- Curtis, Carey y Perkins, Tim. Travel behaviour: A review of recent literature. *Perth, WA: Urbanet, Curtin University of Technology*, 2006.
- Dargay, Joyce y Hanly, Mark. Land use and mobility. 2004.
- de Abreu e Silva, Joao y Goulias, Konstadinos. Structural equations model of land use patterns, location choice, and travel behavior: Seattle, washington, compared with lisbon, portugal. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2135):106–113, 2009.
- Ding, Chuan, Lin, Yaoyu, y Liu, Chao. Exploring the influence of built environment on tour-based commuter mode choice: a cross-classified multilevel modeling approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32:230–238, 2014.
- Esber, George S. Reviewed work: Human aspects of urban form: Towards a man-environment approach to urban form and design. *American Anthropologist*, 84(2):464–465, 1982. ISSN 00027294, 15481433. URL <http://www.jstor.org/stable/676456>.
- Ewing, Reid y Cervero, Robert. Travel and the built environment: a meta-analysis. *Journal of the American planning association*, 76(3):265–294, 2010.

- Fishbein, Martin y Ajzen, Icek. Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research. 1977.
- Frank, Lawrence D y Pivo, Gary. Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: single-occupant vehicle, transit, and walking. *Transportation research record*, 1466:44–52, 1994.
- Frank, Lawrence Douglas. An analysis of relationships between urban form (density, mix, and jobs: housing balance) and travel behavior (mode choice, trip generation, trip length, and travel time). *Transportation Research Part A*, 1(30):76–77, 1996.
- Frank, Lawrence Douglas, Saelens, Brian E, Powell, Ken E, y Chapman, James E. Stepping towards causation: do built environments or neighborhood and travel preferences explain physical activity, driving, and obesity? *Social science & medicine*, 65(9):1898–1914, 2007.
- Gershenson, Carlos. Improving urban mobility by understanding its complexity. *arXiv preprint arXiv:1603.04267*, 2016.
- Gómez, Luis F, Parra, Diana C, Buchner, David, Brownson, Ross C, Sarmiento, Olga L, Pinzón, José D, Ardila, Mauricio, Moreno, José, Serrato, Mauricio, y Lobelo, Felipe. Built environment attributes and walking patterns among the elderly population in bogotá. *American journal of preventive medicine*, 38(6):592–599, 2010.
- Gonzalez, Marta C, Hidalgo, Cesar A, y Barabasi, Albert-Laszlo. Understanding individual human mobility patterns. *Nature*, 453(7196):779–782, 2008.
- Gordon, Charles. Reviewed work: Human aspects of urban form: Towards a man-environment approach to urban form and design. *Contemporary Sociology*, 8(2):313–314, 1979. ISSN 00943061, 19398638. URL <http://www.jstor.org/stable/2066198>.
- Graham, Stephen y Marvin, Simon. *Splintering urbanism: networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition*. Psychology Press, 2001.
- Greenwald, Michael J y McNally, Michael G. Land use influences on trip chaining in portland, oregon. 2008.

- Handy, Susan, Cao, Xinyu, y Mokhtarian, Patricia. Correlation or causality between the built environment and travel behavior? evidence from northern california. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10 (6):427–444, 2005.
- Hanson, Susan. Gender and mobility: new approaches for informing sustainability. *Gender, Place & Culture*, 17(1):5–23, 2010.
- Hernández, Diego. Activos y estructuras de oportunidades de movilidad: Una propuesta analítica para el estudio de la accesibilidad por transporte público, el bienestar y la equidad. *EURE (Santiago)*, 38(115):117–135, 2012.
- Holden, Erling y Norland, Ingrid T. Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater oslo region. *Urban studies*, 42(12): 2145–2166, 2005.
- Holtzclaw, John. *Using residential patterns and transit to decrease auto dependence and costs*, volume 11. Natural Resources Defense Council San Francisco, CA, 1994.
- Hunt, John Douglas y Abraham, John E. Influences on bicycle use. *Transportation*, 34(4):453–470, 2007.
- Hägerstrand, Torsten. What about people in regional science? *Regional Science Association Papers*, 34:7–21, 1970.
- Jacobs, Jane. The death and life of great american cities. *Vintage, New York*, 1961.
- Jones, Kelvyn y Duncan, Craig. People and places: the multilevel model as a general framework for the quantitative analysis of geographical data. *Spatial analysis: Modelling in a GIS environment*, pages 79–104, 1996.
- Kenworthy, Jeffrey. 1 urban planning and transport paradigm shifts for surviving the post-petroleum age in cities. 2009.
- Kenworthy, Jeffrey R. The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development. *Environment and urbanization*, 18(1):67–85, 2006.

- Khan, Mobashwir, Kockelman, Kara M, y Xiong, Xiaoxia. Models for anticipating non-motorized travel choices, and the role of the built environment. *Transport Policy*, 35:117–126, 2014.
- Kim, Changjoo y Wang, Shujie. Empirical examination of neighborhood context of individual travel behaviors. *Applied Geography*, 60:230–239, 2015.
- Kitamura, Ryuichi, Mokhtarian, Patricia L, y Laidet, Laura. A micro-analysis of land use and travel in five neighborhoods in the san francisco bay area. *Transportation*, 24(2):125–158, 1997.
- Kockelman, Kara. Travel behavior as function of accessibility, land use mixing, and land use balance: evidence from san francisco bay area. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1607):116–125, 1997.
- Kraan, Mariëtte. Time to travel? a model for the allocation of time and money. *Transportation Research Part A*, 1(31):87, 1997.
- Krizek, Kevin J. Operationalizing neighborhood accessibility for land use-travel behavior research and regional modeling. *Journal of Planning Education and Research*, 22(3):270–287, 2003.
- Lenntorp, B. Path in space-time environments. *Time-Geographic Study of Movement Possibilities of Individuals, rapport n Avhandlingar LXXVII*, 1976.
- Lenntorp, Bo. Paths in space-time environments: A time-geographic study of movement possibilities of individuals. *Environment and Planning A*, 9(8): 961–972, 1977.
- Levinson, David M y Kumar, Ajay. Density and the journey to work. *Growth and change*, 28(2):147–172, 1997.
- Limtanakool, N, Dijst, MJ, y Schwanen, T. The influence of socio-economic characteristics, land use and travel time considerations on mode choice for medium-and longer-distance trips. *Journal of transport geography*, 14(5): 327, 2006.
- Maat, Cornelis y Maat, Kees. *Built environment and car travel: Analyses of interdependencies*. Number 29. IOS Press, 2009.

- Maat, Kees, Van Wee, Bert, y Stead, Dominic. Land use and travel behaviour: expected effects from the perspective of utility theory and activity-based theories. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(1):33–46, 2005.
- McFadden, Daniel. The measurement of urban travel demand. *Journal of public economics*, 3(4):303–328, 1974.
- McFadden, Daniel. The mathematical theory of demand models. *Behavioral Travel-Demand Models*. Toronto, Lexington Books, 1976.
- McFadden, Daniel, Train, Kenneth, et al. Mixed mnl models for discrete response. *Journal of Applied Econometrics*, 15(5):447–470, 2000.
- Mercado, Ruben, Páez, Antonio, et al. Aging, gender and neighbourhood determinants of distance traveled: A multilevel analysis in the hamilton cma. Technical report, McMaster University, 2007.
- Meurs, HJ y Van Wee, GP. Land use and mobility: a synthesis of findings and policy implications. 2003.
- Mokhtarian, Patricia L y Cao, Xinyu. Examining the impacts of residential self-selection on travel behavior: A focus on methodologies. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(3):204–228, 2008.
- Mokhtarian, Patricia L y Salomon, Ilan. How derived is the demand for travel? some conceptual and measurement considerations. *Transportation research part A: Policy and practice*, 35(8):695–719, 2001.
- Newman, Peter G y Kenworthy, Jeffrey R. *Cities and automobile dependence: An international sourcebook*. 1989.
- Páez, Antonio y Scott, Darren M. Spatial statistics for urban analysis: a review of techniques with examples. *GeoJournal*, 61(1):53–67, 2005.
- Parra, Diana C, Gomez, Luis F, Fleischer, Nancy L, y Pinzon, Jose David. Built environment characteristics and perceived active park use among older adults: Results from a multilevel study in bogota. *Health & Place*, 16(6): 1174–1181, 2010.

- Peters, Deike. Gender and sustainable urban mobility. *Thematic Study Prepared for Sustainable Urban Mobility: Global Report on Human Settlements*, 2013.
- Petersen, Rudolf y Institute, Wuppertal. Land use planning and urban transport. In *Sustainable transport: A Sourcebook for Policy Makers in Developing Cities*. 2004.
- Pindus, Nancy, Wial, Howard, y Wolman, Harold. *Urban and regional policy and its effects*, volume 2. Brookings Institution Press, 2010.
- Pucher, John, Dill, Jennifer, y Handy, Susan. Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. *Preventive Medicine*, 50:S106–S125, 2010.
- Rabe-Hesketh, Sophia y Skrondal, Anders. *Multilevel and longitudinal modeling using Stata*. STATA press, 2008.
- Rabe-Hesketh, Sophia, Skrondal, Anders, y Pickles, Andrew. *Gllamm manual*. 2004.
- Rapoport, Amos. *Human aspects of urban form: towards a man—environment approach to urban form and design*. Elsevier, 2016.
- Raudenbush, Stephen W y Bryk, Anthony S. *Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods*, volume 1. Sage, 2002.
- Reilly, Michael y Landis, John. The influence of built-form and land use on mode choice. *University of California Transportation Center*, 2003.
- Rickwood, Peter, Glazebrook, Garry, y Searle, Glen. Urban structure and energy—a review. *Urban policy and research*, 26(1):57–81, 2008.
- Robayna, Alejandro. "homo mobilis: entre la tiranía empresaria, la inoperancia estatal y la multiplicidad de destinos. algunas reflexiones montevidéanas".
- Rodrigue, Jean-Paul, Comtois, Claude, y Slack, Brian. *The Geography of Transport Systems*. Routledge, 2013.
- Rodríguez, Daniel A y Joo, Joonwon. The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(2):151–173, 2004.

- Rodríguez, Jean-Paul, Comtois, Claude, y Slack, Brian. *The geography of transport systems*. Routledge, 2009.
- Saelens, Brian E y Handy, Susan L. Built environment correlates of walking: a review. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(7 Suppl):S550, 2008.
- Schafer, Andreas y Victor, David G. The future mobility of the world population. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 34(3):171–205, 2000.
- Schwanen, Tim, Dijst, Martin, y Dieleman, Frans M. Policies for urban form and their impact on travel: the netherlands experience. *Urban studies*, 41(3):579–603, 2004.
- Schwartz, Shalom H. Normative influences on altruism. *Advances in experimental social psychology*, 10:221–279, 1977.
- Shannon, Claude E. y Weaver, Warren. *The Mathematical Theory of Communication*. pub-U-ILLINOIS-PRESS, pub-U-ILLINOIS-PRESS:adr, 1949.
- Shiftan, Yoram y Ben-Akiva, Moshe. A practical policy-sensitive, activity-based, travel-demand model. *The Annals of Regional Science*, 47(3):517–541, 2011.
- Shove, Elizabeth. Beyond the abc: climate change policy and theories of social change. *Environment and planning A*, 42(6):1273–1285, 2010.
- Spears, Steven, Houston, Douglas, y Boarnet, Marlon G. Illuminating the unseen in transit use: A framework for examining the effect of attitudes and perceptions on travel behavior. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 58:40–53, 2013.
- Stead, Dominic. Relationships between land use, socioeconomic factors, and travel patterns in britain. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(4):499–528, 2001.
- Twisk, Jos WR. *Applied longitudinal data analysis for epidemiology: a practical guide*. Cambridge University Press, 2013.
- Van Acker, Veronique, Van Wee, Bert, y Witlox, Frank. When transport geography meets social psychology: toward a conceptual model of travel behaviour. *Transport Reviews*, 30(2):219–240, 2010.

- Van Wee, Bert y Handy, Susan. Do future land-use policies increase sustainable travel? In *Handbook of sustainable travel*, pages 231–242. Springer, 2014.
- Venter, CJ y Mohammed, SO. Estimating car ownership and transport energy consumption: a disaggregate study in nelson mandela bay. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 55(1):02–10, 2013.
- Verhoef, Erik. External effects and social costs of road transport. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 28(4):273–287, 1994.
- Walker, Francisco Bascuñán, Gana, Diana Bordones, y Fernández, Jeniffer Reyes. Efectos de la entropía urbana en el coste energético del transporte. *Urbano*, 14(23):20–27, 2015.
- Weber, Joe y Kwan, Mei-Po. Evaluating the effects of geographic contexts on individual accessibility: A multilevel approach1. *Urban Geography*, 24(8):647–671, 2003.
- Wegener, Michael. Current and future land use models. In *Land Use Model Conference. Dallas: Texas Transportation Institute*, 1995.
- Wegener, Michael. Overview of land use transport models. In *Handbook of transport geography and spatial systems*, pages 127–146. Emerald Group Publishing Limited, 2004.
- Wegener, Michael y Fürst, Franz. Land-use transport interaction: state of the art. 2004.
- Wheaton, William C. Commuting, congestion, and employment dispersal in cities with mixed land use. *Journal of Urban Economics*, 55(3):417–438, 2004.
- Wilson, Alan G. The use of the concept of entropy in system modelling. *Operational Research Quarterly*, pages 247–265, 1970.
- Zahabi, Seyed Amir H, Miranda-Moreno, Luis F, Patterson, Zachary, y Barla, Philippe. Evaluating the effects of land use and strategies for parking and transit supply on mode choice of downtown commuters. *Journal of Transport and Land Use*, 5(2), 2012.

Zahabi, Seyed Amir H, Miranda-Moreno, Luis, Patterson, Zachary, y Barla, Philippe. Spatio-temporal analysis of car distance, greenhouse gases and the effect of built environment: A latent class regression analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77:1–13, 2015.

ANEXOS

Anexo 1

Zonas de Análisis de Transporte

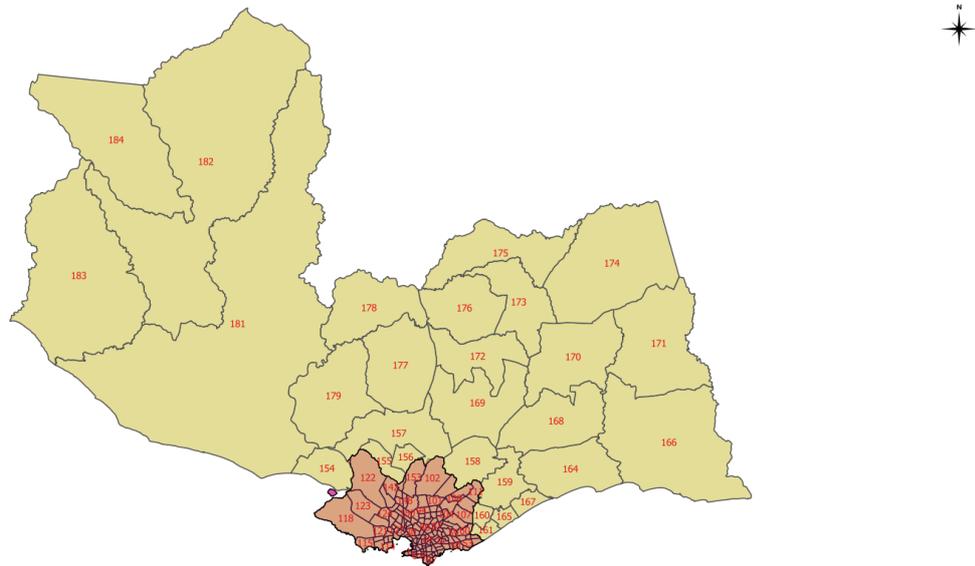


Figura 1.1. Mapa Zonas de Análisis de Transporte Área Metropolitana
Fuente: Elaboración propia.

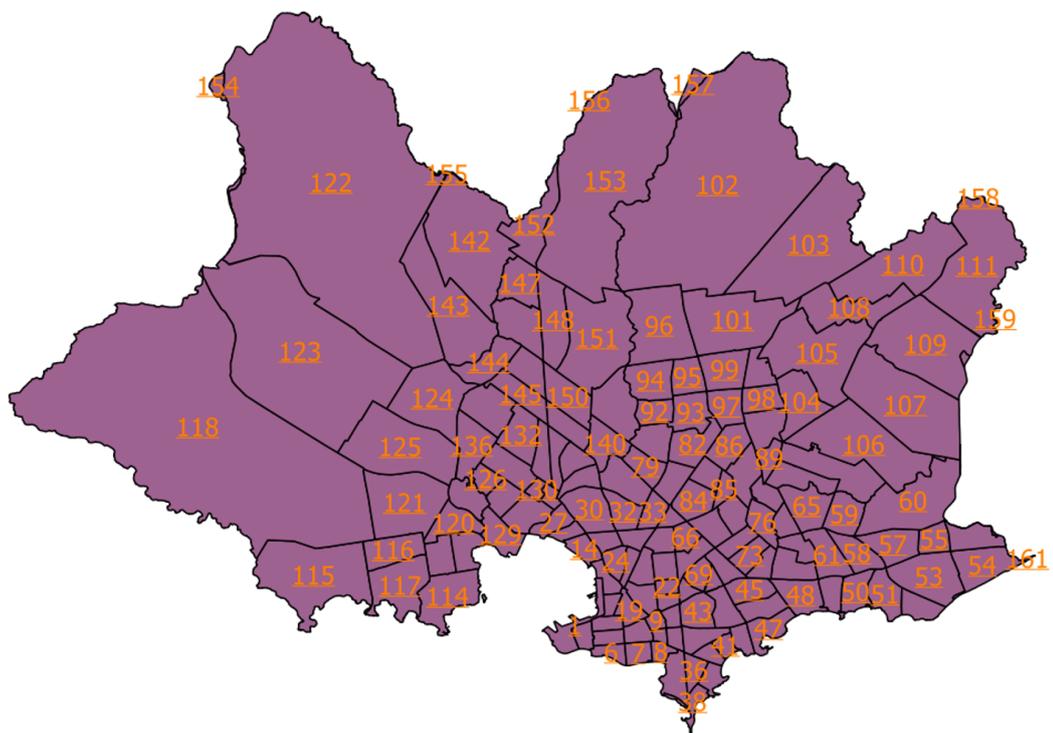


Figura 1.2. Mapa Zonas de Análisis de Transporte Montevideo
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2

Método de estimación regresión logística con intercepto aleatorio

La estimación de modelos multinivel para variables categóricas, multinomiales o dicotómica, no tiene generalmente una forma cerrada. Se estima a través de aproximaciones mediante la cuasi-verosimilitud marginal y la cuasi-verosimilitud penalizada, o bien se estima la máxima verosimilitud con evaluación de integrales (ya que la verosimilitud es marginal con respecto a los efectos aleatorios). En éste último caso se puede realizar la integración numérica por medio de la cuadratura Gauss-Hermite o sino por la cuadratura adaptativa. En el software Stata el programa gllamm permite la simulación y estimación de modelos generalizados latentes y mixtos (Rabe-Hesketh, Skrondal y Pickles, 2004).

Siguiendo a Rabe-Hesketh y Skrondal (2008) se presenta a via de ejemplo, el caso de una regresión logística con intercepto aleatorio ($i = 1, \dots, n_j$) para el cluster j , dado el intercepto aleatorio y la variable explicativa, es el producto de las probabilidades condicionadas de las respuestas individuales:

$$Pr(y_{1j}, \dots, y_{n_j} | x_j, \zeta_j) = \prod_{i=1}^{n_j} Pr(y_{ij} | x_j, \zeta_j) = \prod_{i=1}^{n_j} \frac{\exp(\beta_1 + \beta_2 + \zeta_j)^{y_{ij}}}{1 + \exp(\beta_1 + \beta_2 + \zeta_j)} \quad (2.1)$$

Siendo ζ_j inobservable, la probabilidad marginal conjunta se obtiene mediante la integración sobre la distribución de los efectos aleatorios. El efecto aleatorio se distribuye normal $\phi(\zeta_j; 0, \psi)$, con media 0 y varianza ψ . La probabilidad marginal conjunta no depende de ζ_j pero si de x_j :

$$Pr(y_{1j}, \dots, y_{nj}|x_j) = \int Pr(y_{1j}, \dots, y_{nj}|x_j, \zeta_j)\phi(\zeta_j; 0, \psi)d\zeta_j = \int \prod_{i=1}^{n_j} Pr(y_{ij}|x_j, \zeta_j)\phi(\zeta_j; 0, \psi)d\zeta_j \quad (2.2)$$

Finalmente la probabilidad marginal es la probabilidad conjunta de todas las respuestas para todos los clústeres. Debido a que los clústeres son mutuamente independientes, la probabilidad marginal se construye por el producto de las probabilidades conjuntas marginales de las respuestas para los clústeres individuales:

$$L(\beta_1, \beta_0, \psi) = \prod_{j=1}^N Pr(y_{1j}, \dots, y_{nj}|x_j) \quad (2.3)$$

De esta forma la probabilidad marginal es una función de los parámetros β_1 , β_2 y ψ . Los parámetros son estimados mediante los valores de los mismos que proporcionan la mayor verosimilitud. La búsqueda de dicho máximo es iterativa, típicamente usando el algoritmo de Newton-Raphson o el algoritmo de maximización de expectativas (EM). La siguiente integral $\int Pr(y_{1j}, \dots, y_{nj}|x_j, \zeta_j)\phi(\zeta_j; 0, \psi)d\zeta_j$ sobre ζ_j puede ser aproximada mediante los polinomios de cuadratura Gauss-Hermite, a través de la suma de R términos. Donde ζ_j es sustituido por e_r y su densidad normal reemplazada por un peso w_r del r-ésimo término. Donde e_r y w_r se denominan posiciones y pesos de cuadratura de Gauss-Hermite. En el caso de cuadratura adaptativa las posiciones (y así también los pesos) siguen la siguiente estructura:

$$e_{rj} = a_j + b_j e_j \quad (2.4)$$

Donde a_j y b_j son constantes específicas del clúster. De esta forma las posiciones y los pesos son adaptados a los datos de los clústeres individuales. La encuesta se encuentra ponderada, por lo tanto se aplicarán los ponderadores en las estimaciones de los modelos.

Anexo 3

Indicadores de diversidad

Batty et al. (2004) nos acercan distintos indicadores espaciales con el objetivo de medir la característica multifuncional de las ciudades. En el sentido de que más de una actividad o función existe en un mismo lugar y/o al mismo tiempo.

Teniendo en cuenta los usos funcionales del suelo, tal como se definieron anteriormente, se define K como el número total de tipos de usos del suelo. Y la cantidad de un tipo determinado k , por ejemplo la cantidad de centros de salud, como $a(i, k)$. Por ejemplo en la zona 4 existen 2 centros de salud, por lo tanto $a(i, k) = 4$.

Para mostrar si un uso del suelo k existe en la zona i , se define $b(i, j) = 1$ si $a(i, k) > 0$, en otro caso $b(i, j) = 0$. A partir de ello es posible definir las siguientes medidas:

- Una simple medida de diversidad.

La medida más simple es contar directamente las actividades de cada zona i , de forma que la diversidad de cada zona es: $= kb(i, k)$. La misma varía entre 0 a K , cero en el caso de que dicha zona no tenga ninguno de los tipos de suelo y K cuando dicha zona contenga el total de tipos de suelo. Esta medida simple de diversidad no toma en cuenta la densidad ni las cantidades de usos de suelo para cada tipo definido.

- Densidad-diversidad

La medida de densidad-diversidad propuesta por Batty et al. (2004) se reduce en la siguiente expresión:

$$d(i) = \sum_k \frac{a(i, k)}{\max_i a(i, k)} \quad (3.1)$$

Siendo $max_i a(i, k)$ el valor máximo de cada uso entre las 153 zonas. En este caso $\frac{a(i, k)}{max_i a(i, k)}$ expresa el volumen de cada uso como proporción del valor máximo de cada uso. Luego se suman para cada zona las proporciones de todos los usos.

- Densidad-diversidad estadística

Defiendo $\tilde{a}(i, k) = \frac{a(i, k)}{\sum_i a(i, k)}$ es posible definir la correspondiente medida estadística de $d(i)$ como $\tilde{d}(i) = \sum_k \tilde{a}(i, k)$. Siendo $\sum_i a(i, k)$ el total de usos k en Montevideo, es decir la suma del tipo de uso k entre todas las zonas. De forma que $\tilde{a}(i, k)$ expresa el ratio de un tipo de uso k en un lugar como proporción de todo el uso en la región (Montevideo). La suma de dichos ratios es $\tilde{d}(i)$, medida que tiene la misma interpretación que $d(i)$.

- Separación o segregación

La separación o segregación de usos de cada zona se expresa entonces por la suma de las proporciones de cada uso de cada zona menos el promedio de cada actividad en la región:

$$\bar{d}(i) = \sum_k \left| \tilde{a}(i, k) - \frac{sum_k a(i, k)}{sum_{ik} a(i, k)} \right| \quad (3.2)$$

Este estadístico es igual a cero cuando el mix use de la zona es igual al regional, la diferencia aumenta cuando el mix use de la zona es más diferente al regional.

Anexo 4

Estadísticos descriptivos y mapas de las variables explicativas

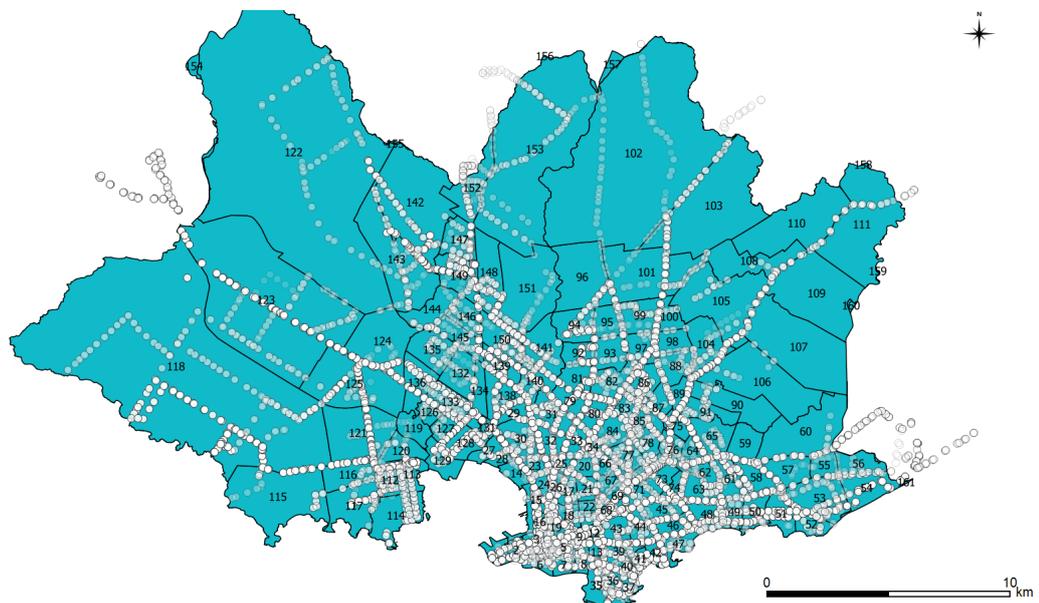


Figura 4.1. Distribución de paradas de transporte público en Montevideo. En la figura se puede observar la distribución de las paradas a lo largo del departamento y observar la cantidad de paradas por zonas (ZAT), así como la centralidad de la red. Elaborado a partir del catálogo de datos de la Intendencia de Montevideo, Uruguay.

Tabla 4.1*Estadísticas descriptivas de las variables empleadas*

<i>Variables Continuas</i>					
	Observaciones	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Hogar					
Log del Ingreso Familiar	6371	10.15	1.24	0.00	13.29
Ingreso Familiar (en pesos)	6371	38024.56	37743.01	0.00	594910.00
Individuo					
Edad (en años)	6371	38.81	20.36	2.00	95.00
Alternativas					
Tiempo de viaje (en minutos)	6371	23.05	20.37	1.00	380.0
Entorno Construido					
Índice de Diversidad (entropía urbana)	6371	0.33	0.14	0.00	0.67
Longitud Línea de transporte (km2/km2)	6371	0.06	0.07	0.00089	0.47
Densidad (en km2)	6371	10213.15	7291.19	40.48	29795.90
Cantidad de Paradas	6371	251.93	165.59	21	1300
<i>Variables Categóricas-Discretas-Binarias</i>					
	Observaciones	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Individuo					
Sexo	6371	0.46	0.49	0.00	1.00
Actividad viaje	6371	1.54	0.71	1.00	3.00
Hogar					
Cantidad de Personas en Hogar	6371	3.43	1.80	1.00	14.00
Zona de Residencia	6371	67.93	40.32	1.00	153.00
Estrato	6371	2.68	1.12	1.00	4.00
Tiene Vehículo	6371	0.55	0.49	0.00	1.00

Fuente: elaboración propia

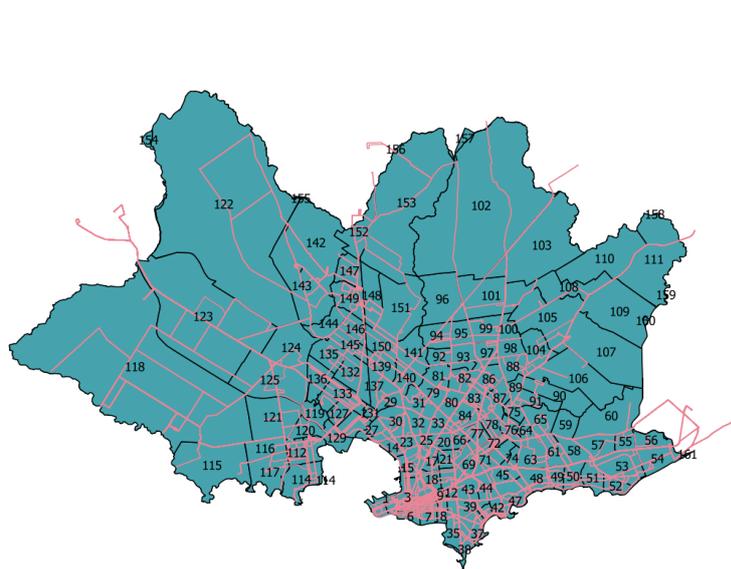


Figura 4.2. Longitud líneas de transporte en Montevideo, por zonas analíticas de transporte (ZAT). La figura ilustra el mapa de Montevideo identificando las zonas y las líneas de transporte público. Elaborado en QGis en base al catálogo de datos georreferenciados de la Intendencia de Montevideo

Anexo 5

Encuesta de Origen-Destino 2009

DATOS DEL HOGAR

IDENTIFICADOR DE LA PERSONA QUE RESPONDE

Vehículos Motorizados

1 ¿Cuántos vehículos hay en el hogar? (incluyendo automóviles de trabajo)

Si responde
cero (0), pasa
a pregunta 7

1 ° Vehículo

2 Tipo Auto 1
Moto 2
Otro vehículo 3

2 ° Vehículo

Auto 1
Moto 2
Otro vehículo 3

3 ° Vehículo

Auto 1
Moto 2
Otro vehículo 3

3 Propiedad

Propio, uso particular 1
Propio, de trabajo 2
Empresa-gobierno 3

Propio, uso particular 1
Propio, de trabajo 2
Empresa-gobierno 3

Propio, uso particular 1
Propio, de trabajo 2
Empresa-gobierno 3

4 Año

5 Marca

6 Modelo

7 ¿Tiene un lugar para guardar vehículo/s?
(Garage o lugar abierto)

 Sí No

-> fin del modulo

8 ¿Cuántos vehículos puede guardar?

ESTUDIO DE TRANSPORTE URBANO

ENCUESTA PERSONAL

IDENTIFICADOR DEL HOGAR

IDENTIFICADOR DE LA PERSONA FECHA DE LOS VIAJES

NOMBRE DE LA PERSONA _____

¿Dónde estaba usted a las 4 de la mañana del día de ayer?

- | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Hogar | <input type="radio"/> | Lugar de recreación | <input type="radio"/> |
| Lugar de trabajo | <input type="radio"/> | Hospital/centro médico | <input type="radio"/> |
| Casa de amigos/familiares | <input type="radio"/> | Otro | <input type="radio"/> |

Si comenzó el día en su hogar, continúe con la siguiente pregunta.
 Si no, ¿puede decimos la dirección exacta del lugar donde comenzó el día?

Calle _____
 Numeración o esquina _____
 Otro _____
 Departamento _____
 Localidad/Barrio _____

¿Fue a algún lugar entre las 4 de la mañana del día de ayer y las 4 de la mañana del día de hoy dentro del Área Metropolitana de Montevideo?

No → Terminar
 Sí → Continúe

A continuación le solicitamos la información completa sobre todos los viajes que realizó a lo largo del día de ayer. Por favor, incluya TODOS sus viajes, todos son importantes. No olvide los viajes de regreso a su casa o al trabajo.

Deberá, por lo tanto, detallar todos los viajes realizados fuera del hogar por cualquier motivo (ir al trabajo, a la escuela, de compras, volver al hogar, etc.) en cualquier medio de transporte incluyendo los viajes a pie.

En cada hoja deberá completar la información correspondiente a cada viaje realizado, detallando cada una de sus etapas; así por ejemplo, si Ud. fue a su trabajo en automóvil y ómnibus deberá completar la primera etapa para registrar el automóvil y la segunda para el ómnibus.

IDENTIFICADOR DE LA PERSONA IDENTIFICADOR DEL HOGAR 2 0 0 9 VIAJE N°

¿Dónde fue?

Dirección exacta del destino del viaje Calle _____ Numeración o Esquina _____ Otro _____ Departamento _____ Localidad/barrio _____	Actividad en el destino Hogar <input type="checkbox"/> Trabajo <input type="checkbox"/> Trámites de trabajo <input type="checkbox"/> Trámites personales <input type="checkbox"/> Estudios <input type="checkbox"/> Compras <input type="checkbox"/> Asistencia médica/dental <input type="checkbox"/> Entrenamiento <input type="checkbox"/> Ir a comer <input type="checkbox"/> Dejar/recoger niños en el colegio <input type="checkbox"/> Dejar/recoger a alguien <input type="checkbox"/> Visitar a alguien <input type="checkbox"/> Acompañar a alguien <input type="checkbox"/> Otro _____ <input type="checkbox"/>	¿A qué hora inició el viaje? _____ : _____ ¿A qué hora llegó al destino? _____ : _____
--	--	---

ETAPA <input type="checkbox"/>	Medio de Transporte utilizado	Cuadras caminadas antes	Si utilizó como conductor AUTOMÓVIL o MOTOCICLETA, Indique			Si utilizó TAXI o REMIS, Indicar la tarifa
			Tipo estacionamiento	Costo de estacionamiento	Costo de Peaje	
Automóvil conductor <input type="checkbox"/> Automóvil pasajero <input type="checkbox"/> Taxi <input type="checkbox"/> Remis <input type="checkbox"/> Omnibus <input type="checkbox"/> Ferrocarril <input type="checkbox"/> Bus empresa <input type="checkbox"/>	Bus escolar <input type="checkbox"/> Moto conductor <input type="checkbox"/> Moto pasajero <input type="checkbox"/> Bicieta <input type="checkbox"/> A pie <input type="checkbox"/> Animal <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Si el viaje es a pie <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	De la empresa <input type="checkbox"/> Via pública libre <input type="checkbox"/> Via pública tarifada <input type="checkbox"/> Playa de estacionamiento <input type="checkbox"/> Cochera residencial <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Por hora <input type="checkbox"/> Por estadía <input type="checkbox"/> Abono mensual <input type="checkbox"/> \$ _____	\$ _____ Personas con Ud <input type="checkbox"/>	\$ _____ ¿Pagó usted? <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> A medias <input type="checkbox"/> Personas con Ud <input type="checkbox"/>

Si utilizó algún medio de TRANSPORTE MASIVO, Indique las características del medio utilizado y la tarifa pagada				Cuadras caminadas después
Ferrocarril	Omnibus	Tarifa (Ferrocarril, Omnibus, Bus Escolar)		
Línea o Ramal _____ Est. de entrada _____ Est. de salida _____	Línea _____ Destino/Variante _____ Parada donde subió _____ Calle _____ Numeración o Esquina _____ Otro _____ Departamento _____ Localidad/barrio _____	\$ _____ Boleto de ida <input type="checkbox"/> Boleto de ida/vuelta <input type="checkbox"/> Boleto 1 hora <input type="checkbox"/> Boleto 2 horas <input type="checkbox"/> Boleto común <input type="checkbox"/> Boleto Centrico <input type="checkbox"/> Jubilado <input type="checkbox"/> Estudiante <input type="checkbox"/> Metropolitano <input type="checkbox"/> Zonal/Local <input type="checkbox"/> Gratuito/Pase Libre <input type="checkbox"/> Abono Institucional <input type="checkbox"/> Pase Organismo Militar <input type="checkbox"/> Diferencial <input type="checkbox"/> Abono Ferrocarril <input type="checkbox"/> Abono Suburbano <input type="checkbox"/> Cantidad de Boletos del abono <input type="text"/>		<input type="checkbox"/>

Si caminó más de 10 cuadras en esta etapa o en el viaje (si lo hizo completamente a pie), Indicar el motivo
 No quiere pagar la tarifa No tiene otro transporte adecuado Le gusta
 No tiene dinero para pagar la tarifa Para evitar el transbordo Otro

ETAPA <input type="checkbox"/>	Medio de Transporte utilizado	Cuadras caminadas antes	Si utilizó como conductor AUTOMÓVIL o MOTOCICLETA, Indique			Si utilizó TAXI o REMIS, Indicar la tarifa
			Tipo estacionamiento	Costo de estacionamiento	Costo de Peaje	
Automóvil conductor <input type="checkbox"/> Automóvil pasajero <input type="checkbox"/> Taxi <input type="checkbox"/> Remis <input type="checkbox"/> Omnibus <input type="checkbox"/> Ferrocarril <input type="checkbox"/> Bus empresa <input type="checkbox"/>	Bus escolar <input type="checkbox"/> Moto conductor <input type="checkbox"/> Moto pasajero <input type="checkbox"/> Bicieta <input type="checkbox"/> A pie <input type="checkbox"/> Animal <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Si el viaje es a pie <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	De la empresa <input type="checkbox"/> Via pública libre <input type="checkbox"/> Via pública tarifada <input type="checkbox"/> Playa de estacionamiento <input type="checkbox"/> Cochera residencial <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Por hora <input type="checkbox"/> Por estadía <input type="checkbox"/> Abono mensual <input type="checkbox"/> \$ _____	\$ _____ Personas con Ud <input type="checkbox"/>	\$ _____ ¿Pagó usted? <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> A medias <input type="checkbox"/> Personas con Ud <input type="checkbox"/>

Si utilizó algún medio de TRANSPORTE MASIVO, Indique las características del medio utilizado y la tarifa pagada				Cuadras caminadas después
Ferrocarril	Omnibus	Tarifa (Ferrocarril, Omnibus, Bus Escolar)		
Línea o Ramal _____ Est. de entrada _____ Est. de salida _____	Línea _____ Destino/Variante _____ Parada donde subió _____ Calle _____ Numeración o Esquina _____ Otro _____ Departamento _____ Localidad/barrio _____	\$ _____ Boleto de ida <input type="checkbox"/> Boleto de ida/vuelta <input type="checkbox"/> Boleto 1 hora <input type="checkbox"/> Boleto 2 horas <input type="checkbox"/> Boleto común <input type="checkbox"/> Boleto Centrico <input type="checkbox"/> Jubilado <input type="checkbox"/> Estudiante <input type="checkbox"/> Metropolitano <input type="checkbox"/> Zonal/Local <input type="checkbox"/> Gratuito/Pase Libre <input type="checkbox"/> Abono Institucional <input type="checkbox"/> Pase Organismo Militar <input type="checkbox"/> Diferencial <input type="checkbox"/> Abono Ferrocarril <input type="checkbox"/> Abono Suburbano <input type="checkbox"/> Cantidad de Boletos del abono <input type="text"/>		<input type="checkbox"/>

IDENTIFICADOR DE LA PERSONA IDENTIFICADOR DEL HOGAR 2 0 0 9 VIAJE N°

¿Dónde fue después?

Dirección exacta del destino del viaje Calle _____ Numeración o _____ Esquina _____ Otro _____ Departamento _____ Localidad/barrio _____		Actividad en el destino Hogar <input type="checkbox"/> Trabajo <input type="checkbox"/> Trámites de trabajo <input type="checkbox"/> Trámites personales <input type="checkbox"/> Estudios <input type="checkbox"/> Compras <input type="checkbox"/> Asistencia médica/dental <input type="checkbox"/>		Entretención <input type="checkbox"/> Ir a comer <input type="checkbox"/> Dejar/recoger niños en el colegio <input type="checkbox"/> Dejar/recoger a alguien <input type="checkbox"/> Visitar a alguien <input type="checkbox"/> Acompañar a alguien <input type="checkbox"/> Otro _____ <input type="checkbox"/>		¿A qué hora inició el viaje? : :	
				¿A qué hora llegó al destino? : :			

ETAPA <input type="checkbox"/>	Medio de Transporte utilizado	Cuadras caminadas antes	Si utilizó como conductor AUTOMÓVIL o MOTOCICLETA, Indique			Si utilizó TAXI o REMIS, Indicar la tarifa
			Tipo estacionamiento	Costo de estacionamiento	Costo de Peaje	
Automóvil conductor <input type="checkbox"/> Automóvil pasajero <input type="checkbox"/> Taxi <input type="checkbox"/> Remis <input type="checkbox"/> Omnibus <input type="checkbox"/> Ferrocarril <input type="checkbox"/> Bus empresa <input type="checkbox"/>	Bus escolar <input type="checkbox"/> Moto conductor <input type="checkbox"/> Moto pasajero <input type="checkbox"/> Bicieta <input type="checkbox"/> A pie <input type="checkbox"/> Animal <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Si el viaje es a pie <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	De la empresa <input type="checkbox"/> Via pública libre <input type="checkbox"/> Via pública tarifada <input type="checkbox"/> Playa de estacionamiento <input type="checkbox"/> Cochera residencial <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Por hora <input type="checkbox"/> Por estadia <input type="checkbox"/> Abono mensual <input type="checkbox"/>	\$ <input type="text"/> \$ <input type="text"/> Personas con Ud <input type="checkbox"/>	\$ <input type="text"/> ¿Pagó usted? No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> A medias <input type="checkbox"/> Personas con Ud <input type="checkbox"/>

Si utilizó algún medio de TRANSPORTE MASIVO, Indique las características del medio utilizado y la tarifa pagada			Cuadras caminadas después
Ferrocarril	Omnibus	Tarifa (Ferrocarril, Omnibus, Bus Escolar)	
Línea o Ramal <input type="text"/> Est. de entrada <input type="text"/> Est. de salida <input type="text"/>	Línea <input type="text"/> Destino/Variante <input type="text"/> Parada donde subió Calle _____ Numeración o _____ Esquina _____ Otro _____ Departamento _____ Localidad/barrio _____	\$ <input type="text"/> Boleto de ida <input type="checkbox"/> Boleto de ida/vuelta <input type="checkbox"/> Boleto 1 hora <input type="checkbox"/> Boleto 2 horas <input type="checkbox"/> Boleto común <input type="checkbox"/> Boleto Céntrico <input type="checkbox"/> Jubilado <input type="checkbox"/> Estudiante <input type="checkbox"/>	Metropolitano <input type="checkbox"/> Zonal/Local <input type="checkbox"/> Gratuito/Pase Libre <input type="checkbox"/> Abono Institucional <input type="checkbox"/> Pase Organismo <input type="checkbox"/> Militar <input type="checkbox"/> Diferencial <input type="checkbox"/> Abono Ferrocarril <input type="checkbox"/> Abono Suburbano <input type="checkbox"/>
Cantidad de Boleto del abono <input type="text"/>			

Si caminó más de 10 cuadras en esta etapa o en el viaje (si lo hizo completamente a pie), indicar el motivo

No quiere pagar la tarifa
 No tiene otro transporte adecuado
 Para evitar el transbordo
 Le gusta
 Otro _____

ETAPA <input type="checkbox"/>	Medio de Transporte utilizado	Cuadras caminadas antes	Si utilizó como conductor AUTOMÓVIL o MOTOCICLETA, Indique			Si utilizó TAXI o REMIS, Indicar la tarifa
			Tipo estacionamiento	Costo de estacionamiento	Costo de Peaje	
Automóvil conductor <input type="checkbox"/> Automóvil pasajero <input type="checkbox"/> Taxi <input type="checkbox"/> Remis <input type="checkbox"/> Omnibus <input type="checkbox"/> Ferrocarril <input type="checkbox"/> Bus empresa <input type="checkbox"/>	Bus escolar <input type="checkbox"/> Moto conductor <input type="checkbox"/> Moto pasajero <input type="checkbox"/> Bicieta <input type="checkbox"/> A pie <input type="checkbox"/> Animal <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Si el viaje es a pie <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	De la empresa <input type="checkbox"/> Via pública libre <input type="checkbox"/> Via pública tarifada <input type="checkbox"/> Playa de estacionamiento <input type="checkbox"/> Cochera residencial <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Por hora <input type="checkbox"/> Por estadia <input type="checkbox"/> Abono mensual <input type="checkbox"/>	\$ <input type="text"/> \$ <input type="text"/> Personas con Ud <input type="checkbox"/>	\$ <input type="text"/> ¿Pagó usted? No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> A medias <input type="checkbox"/> Personas con Ud <input type="checkbox"/>

Si utilizó algún medio de TRANSPORTE MASIVO, Indique las características del medio utilizado y la tarifa pagada			Cuadras caminadas después
Ferrocarril	Omnibus	Tarifa (Ferrocarril, Omnibus, Bus Escolar)	
Línea o Ramal <input type="text"/> Est. de entrada <input type="text"/> Est. de salida <input type="text"/>	Línea <input type="text"/> Destino/Variante <input type="text"/> Parada donde subió Calle _____ Numeración o _____ Esquina _____ Otro _____ Departamento _____ Localidad/barrio _____	\$ <input type="text"/> Boleto de ida <input type="checkbox"/> Boleto de ida/vuelta <input type="checkbox"/> Boleto 1 hora <input type="checkbox"/> Boleto 2 horas <input type="checkbox"/> Boleto común <input type="checkbox"/> Boleto Céntrico <input type="checkbox"/> Jubilado <input type="checkbox"/> Estudiante <input type="checkbox"/>	Metropolitano <input type="checkbox"/> Zonal/Local <input type="checkbox"/> Gratuito/Pase Libre <input type="checkbox"/> Abono Institucional <input type="checkbox"/> Pase Organismo <input type="checkbox"/> Militar <input type="checkbox"/> Diferencial <input type="checkbox"/> Abono Ferrocarril <input type="checkbox"/> Abono Suburbano <input type="checkbox"/>
Cantidad de Boleto del abono <input type="text"/>			



Convenio INE - IMM



Hoja de Observaciones

IDENTIFICADOR DEL HOGAR

2	0	0	9																
---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Número del Encuestador

Nombre del Encuestador _____

Fecha

--	--	--	--

Fecha

--	--	--	--

Fecha

--	--	--	--

Fecha

--	--	--	--
