



EL COLEGIO DE MÉXICO

CENTRO DE ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS URBANOS Y AMBIENTALES

“La elección del automóvil privado para la realización de viajes en la
Zona Metropolitana de la Ciudad de México”

Tesis presentada por:
FRANCISCO BREÑA MOLINA

Para optar por el grado de
MAESTRO EN ESTUDIOS URBANOS
Promoción 2017-2019

Directora de Tesis
DRA. MARÍA EUGENIA NEGRETE SALAS

Lector
DR. CARLOS ANDRÉS LÓPEZ MORALES

Ciudad de México, 2020

Agradecimientos

Al Colegio de México.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme una beca para dedicarme de tiempo completo a mis estudios de maestría.

A los contribuyentes.

A la directora de esta investigación, la Dra. María Eugenia Negrete y al lector de ésta, Dr. Carlos López. Gracias por su guía, sus críticas y su tiempo. Sin ustedes esta investigación no hubiera podido llegar a buen puerto.

A los profesores del Centro de Estudios Demográficos Urbanos y Ambientales, particularmente a la Dra. Verónica Crossa y al Dr. Luis Jaime Sobrino.

A Guadalupe Martínez.

Al personal de la biblioteca.

Al personal del comedor.

A todos los mencionados les estaré infinitamente agradecido por hacer de esta etapa una de las más felices y enriquecedoras de mi vida.

Aunque dejo para otro espacio los agradecimientos personales específicos quiero dar gracias a mi familia por todo su apoyo y cariño, y a mis amigos y a Ana, quienes hicieron de mi etapa en el Colegio la más especial de mi vida hasta el momento de escribir estas líneas.

Contenido

Listado de siglas, acrónimos y fórmulas químicas	4
Introducción.....	5
1. Marco conceptual de la elección de modo de transporte.....	7
1.1. La elección del automóvil privado como un problema urbano	7
1.1.1. Costos ambientales	8
1.1.2. Costos sociales.....	9
1.1.3. Costos económicos	10
1.2. Paradigmas del transporte urbano.....	11
1.2.1. Paradigma <i>Business as Usual</i> (enfoque de movilidad)	12
1.2.2. Paradigma de transporte sostenible	16
1.3. La motilidad en tanto concepto seminal del modelo de elección modal de De Witte <i>et al.</i>	20
1.4. El concepto de elección modal	22
1.5. El modelo de elección modal de De Witte <i>et al.</i>	24
1.6. Revisión de variables del modelo de De Witte <i>et al.</i>	26
1.6.1. Factores sociodemográficos	26
1.6.2. Factores de características de viaje.....	30
1.6.3. Factor espacial (Proximidad a Transporte Público Masivo)	31
1.6.4. Factores sociopsicológicos	32
2. La elección modal en la ZMCM.....	36
2.1. Reparto modal en la ZMCM.....	37
2.2. Flota vehicular y tasa de motorización en la ZMCM	44
2.3. Distribución espacial del transporte público masivo en la ZMCM.....	55
2.4. Distribución espacial del uso del automóvil.....	62
3. El estudio de la elección del automóvil privado en la ZMCM.....	66
3.1. La microeconometría y la regresión logística	67
3.2. La regresión logística.....	68
3.3. La EOD 2017.....	70
3.4. Descripción del modelo	72
3.5. Resultados.....	82
3.6. Capacidades predictivas de los modelos como medida de bondad de ajuste	88
3.7. Comparación con estudios similares	92

4. Conclusiones.....	95
5. Anexos	97
5.1. Anexo 1. Ejemplo del formato de los registros de Vehículos con Motor Registrados en Circulación realizado a nivel municipal.	97
5.2. Anexo 2. Cuadro con periodos de duplicación dada una TCMA	98
6. Bibliografía.....	99

Índice de cuadros

Cuadro 1.1. Efectos en la salud y el ambiente de contaminantes criterio emitidos por automóviles..	8
Cuadro 1.2. Lista de factores de la elección modal clasificados por tipo.....	25
Cuadro 2.1. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM en un día típico (1972)	38
Cuadro 2.2. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM (1983).....	39
Cuadro 2.3. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM (1994).....	40
Cuadro 2.4. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM (2007).....	41
Cuadro 2.5. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM (2017).....	42
Cuadro 2.6. Número de municipios del Estado de México con información de VMRC	48
Cuadro 3.1. Distribución de la muestra de la EOD 2017	71
Cuadro 3.2. Descripción de variables del modelo <i>logit</i>	76
Cuadro 3.3. Estadísticos descriptivos de las variables independientes	78
Cuadro 3.4. Matriz de correlación de las variables independientes	79
Cuadro 3.5. Resultados y capacidad predictiva de regresiones logísticas preliminares.....	80
Cuadro 3.6. Resultados y capacidad predictiva de regresiones logísticas.....	82
Cuadro 3.7. Puesto de la variable en <i>ranking</i> de pesos relativos de cada modelo	83
Cuadro 3.8. Esquema de estadísticos de validación de probabilidades predichas	91

Índice de figuras

Figura 1.1. Ciclo de dependencia del automóvil y dispersión de las ciudades.....	15
Figura 1.2. Esquema de los factores de la elección modal.....	25

Índice de gráficas

Gráfica 2.1. Evolución de la participación porcentual del automóvil en el reparto modal de la ZMCM.....	43
Gráfica 2.2. Evolución de los vehículos registrados en la ZMCM 1980-2017	46

Gráfico 2.3. Participación porcentual por entidad de los vehículos registrados en la ZMCM (1980-2017)	47
Gráfica 2.4. Flota vehicular en la ZMCM según Inventarios de Emisiones	53
Gráfica 2.5. Participación porcentual por entidad del número de automóviles particulares según los inventarios de emisiones (1998-2016)	54

Índice de mapas

Mapa 2.1. TCMA de la tasa de motorización por municipio y demarcación territorial en la ZMCM (1980-2000).....	50
Mapa 2.2. TCMA de la tasa de motorización por municipio y demarcación territorial en la ZMCM (2000-2015).....	51
Mapa 2.3. Distribución espacial de las estaciones de TPM en la ZMCM (2000)	59
Mapa 2.4. Distribución espacial de las estaciones de TPM en la ZMCM (2010)	60
Mapa 2.5. Distribución espacial de las estaciones de TPM en la ZMCM (2019)	61
Mapa 2.6. Porcentajes de viajes en automóvil respecto al total de viajes por distrito de la EOD 2017	64

Listado de siglas, acrónimos y fórmulas químicas

AICM	Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México
BAU	<i>Business as usual</i>
BRT	Autobús de tránsito rápido (siglas en inglés)
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ eq.	Dióxido de carbono equivalente
COV	Compuestos orgánicos volátiles
DF	Distrito Federal
ENMT	Encuesta Nacional de Movilidad y Transporte
EOD	Encuesta origen destino
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (siglas en inglés)
GDF	Gobierno del Distrito Federal
GEI	Gases de efecto invernadero
GEM	Gobierno del Estado de México
HFC	Hidrofluorocarbonos
ICA	Ingenieros Civiles Asociados
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
N ₂ O	Óxido nitroso
NO _x	Óxidos de nitrógeno
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PM10	Partículas menores a 10 micrómetros
PM2.5	Partículas menores a 2.5 micrómetros
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente
SO ₂	Dióxido de azufre
STC	Sistema de Transporte Colectivo
TAD	Terminal de almacenamiento y despacho
TCMA	Tasa de crecimiento medio anual
TPM	Transporte Público Masivo
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VKT	Kilómetros-vehículo recorridos
VMRC	Vehículos con motor registrados en circulación
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México
ZMM	Zona Metropolitana de Monterrey
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

Introducción

Diariamente miles de millones de personas en todo el mundo se desplazan desde un punto de origen a un punto de destino. Antes de iniciar su viaje llevan a cabo una elección: qué modo utilizarán para satisfacer su necesidad de transportarse. Evidentemente no todos tienen acceso a la totalidad de modos de transporte disponibles, pues la baraja de opciones reales está limitada por un conjunto de factores espaciales y sociodemográficos. A menudo esta elección es prácticamente inconsciente debido a la fuerza del hábito, otras tantas se requiere un proceso de planificación y evaluación más elaborado. De cualquier forma, el cúmulo de las decisiones de los individuos no es inocuo. Éste tiene consecuencias ambientales, sociales y económicas. Sin embargo, hay modos cuyos costos asociados superan a los de las otras alternativas, a saber, el automóvil privado.

Esta investigación tiene por objetivo conocer el peso relativo de ciertas variables independientes sobre la variable dependiente que es la elección del automóvil privado que realizan los habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) en 2017.¹ Esto a fin de conocer qué características hacen más fácil o atractiva la decisión de usar el automóvil privado y qué otras desincentivan su uso.

La hipótesis de este trabajo es que los factores con mayor peso relativo en la elección del automóvil privado son el número de automóviles por hogar, el estrato sociodemográfico y la cobertura espacial de estaciones de Transporte Público Masivo (TPM).

En el primer capítulo se establecen los fundamentos teórico-conceptuales de la investigación. Específicamente, se identifican los costos que ocasiona el uso del automóvil privado, se distinguen los dos paradigmas del transporte urbano de pasajeros y se presenta el concepto seminal que da origen al modelo de elección de modo de transporte, a saber, la motilidad. Posteriormente se descompone de manera detallada dicho modelo y se hace una revisión bibliográfica para conocer cómo inciden en la elección de modo de transporte los factores que éste considera.

¹ Según López Lira, aunque oficialmente se conoce a la zona metropolitana estudiada como Zona Metropolitana del Valle de México, en el ámbito académico debe utilizarse la denominación “Zona Metropolitana del Valle de México” debido a que (i) geográficamente no se trata de un valle, sino de una cuenca (Aguilar, 2000) y (ii) que la mancha urbana no se limita al denominado “valle”, sino que se extiende más allá de ese referente (López Lira, 2017, p. 2).

El segundo capítulo es de carácter más descriptivo. En él se estudia el comportamiento de la elección de modos de transporte en la ZMCM. Primero se revisa cómo ha evolucionado tal comportamiento en la urbe estudiada durante los últimos años. Posteriormente se realiza una aproximación al cambio en el tiempo de las cifras de la flota vehicular, así como de las tasas de motorización. Luego, se realiza una revisión histórica de la irrupción de diversos modos de transporte en el área de estudio. Asimismo, se realiza un análisis cartográfico de la cobertura territorial actual de la red de transporte público masivo (TPM), así como de sus cambios en décadas recientes. Finalmente se realiza un segundo análisis cartográfico en el que se identifica en qué áreas de la ZMCM hay una proporción más elevada de viajes realizados en automóvil respecto al total de viajes, y en cuáles otras la proporción es menor.

En el tercer capítulo se propone un modelo microeconómico para explicar qué factores tienen un mayor peso relativo en la elección del automóvil privado. Asimismo, se fundamenta porqué se ha considerado a la regresión logística como el método adecuado para estudiar este problema de elección. Posteriormente se presentan los resultados de las regresiones logísticas realizadas, mismos que son interpretados a fin de construir una narrativa que caracterice cómo es que los habitantes de la ZMCM eligen o rechazan hacer uso del automóvil privado para sus viajes intraurbanos. Finalmente se evalúa la robustez del modelo mediante la evaluación de su capacidad predictiva y se comparan los resultados obtenidos con los de estudios similares. Es en este capítulo donde se da respuesta a la pregunta de investigación.

1. Marco conceptual de la elección de modo de transporte

En este capítulo se establecen los fundamentos conceptuales de la presente investigación. En el primer apartado se realiza un primer acercamiento al problema de la elección modal mediante la revisión de los costos asociados al uso del automóvil en las ciudades.² A continuación se introducen dos paradigmas divergentes sobre la resolución de problemas del transporte urbano. Cabe mencionar que, aunque ambos paradigmas representan formas distintas de entender a los problemas de transporte en las ciudades, esto no implica que en la realidad estos sean observados de manera binaria (uno o el otro), sino de manera gradual (ciertos aspectos de uno, ciertos aspectos de otro). Posteriormente se revisa el concepto de motilidad, que es la piedra angular del modelo de elección modal de De Witte *et al.* Al hablar del concepto de elección modal, también se hace una breve mención de dos paradigmas de toma de decisiones. Para concluir con este capítulo, después de profundizar en los componentes del modelo de elección modal mencionado, se hace una breve revisión bibliográfica sobre los factores que inciden en la elección modal, a fin de conocer cómo influyen sobre ella.

1.1. La elección del automóvil privado como un problema urbano

Cuando un individuo que reside en alguna ciudad opta por el automóvil privado para la realización de sus viajes, éste no suele considerar las consecuencias de su elección, tal vez a excepción de aquéllas que le atañen de manera inmediata, por ejemplo el tiempo y el costo de su traslado. Sin embargo, el cúmulo de esas elecciones tiene profundas consecuencias en diversos aspectos de la vida urbana. Ámbitos como la calidad de vida de la población, la economía urbana y el medio ambiente se ven afectados por el uso del automóvil privado.

En los siguientes párrafos se presenta una revisión general de los principales costos asociados a la elección del automóvil privado. A fin de que esta revisión sea más ordenada, se han clasificado estos costos en tres categorías principales: (i) los costos ambientales, (ii) los costos sociales y (iii) los costos económicos.

² Cabe hacer la distinción entre dos conceptos que comúnmente son tomados por sinónimos. Medio de transporte se refiere al “medio físico por el que transitan los vehículos que son usados para el traslado de las personas y los bienes” (terrestre, aéreo y acuático, por ejemplo), mientras que se entiende por modo de transporte a “las entidades que se caracterizan por una similitud tecnológica, operativa y administrativa” (automóvil privado, autobús, tren, etcétera) (Islas Rivera y Lelis Zaragoza, 2007, p. 44).

1.1.1. Costos ambientales

En primer lugar, los automóviles privados son una importante fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tales como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los hidrofluorocarbonos (HFC). Estos compuestos químicos contribuyen al cambio climático dado que al aumentar su concentración atmosférica, la radiación solar que pueden retener en la tierra también es mayor, lo cual a su vez ocasiona un incremento paulatino en la temperatura media global (SEDEMA, 2018, 71-72 pp.).³

Un segundo elemento de los costos ambientales es la emisión de gases que afectan la calidad del aire a nivel local. Los automóviles emiten gases como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), bióxido de azufre (SO₂), partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micrómetros (PM10 y PM2.5, respectivamente) y compuestos orgánicos volátiles (COV) (SEDEMA, 2018, p. 49). El siguiente cuadro presenta los efectos en la salud de la población expuesta a los gases mencionados. Cabe mencionar que este conjunto de contaminantes es conocido como “contaminantes criterio”.

Cuadro 1.1. Efectos en la salud y el ambiente de contaminantes criterio emitidos por automóviles

Contaminante criterio	Efectos en la salud y el ambiente
CO	<ul style="list-style-type: none">• Reduce la capacidad normal de transportar oxígeno de los pulmones al resto del cuerpo.• Se sobrecarga el bombeo del corazón, lo cual demanda esfuerzos adicionales en el aparato respiratorio.• La exposición continua a altas concentraciones puede ocasionar intoxicaciones agudas (dolor de cabeza y mareos) y en casos extremos puede llegar al estado de coma y muerte.
SO ₂	<ul style="list-style-type: none">• Irritación en los ojos, piel y sistema respiratorio. La población con problemas respiratorios crónicos es particularmente vulnerable debido a su propensión a respirar por la boca.• Puede transformarse en ácido sulfúrico, el cual es uno de los elementos principales de la lluvia ácida. Esto provoca la acidificación de los cuerpos de agua y suelos, y puede dañar bienes inmuebles y monumentos.

³ El CO₂ eq. es una medida utilizada para hacer comparables las contribuciones al cambio climático de los diferentes gases de GEI debido a que estos afectan a la atmósfera de manera distinta y durante periodos de tiempo diferentes. Básicamente, se relaciona el efecto del calentamiento de cada uno de los gases respecto al CO₂ (SEDEMA, 2018)

PM10 y PM2.5	<ul style="list-style-type: none"> • Daño respiratorio que, dependiendo del tamaño de las partículas, puede provocar desde infecciones hasta enfermedades en pulmones y alvéolos.
NOx	<ul style="list-style-type: none"> • Desde 2012 la Organización Mundial de la salud lo considera como agente cancerígeno. • También participa en la formación de lluvia ácida. • Es precursor del ozono, el cual ocasiona dificultad para respirar e inflamación de las vías respiratorias, agrava enfermedades como asma, enfisema pulmonar y bronquitis.
COV	<ul style="list-style-type: none"> • También es precursor del ozono

Fuente: elaboración propia con información de Legorreta (1995), SEDEMA (2018) y EPA (s/f)

De acuerdo con el arquitecto Jorge Legorreta factores como la velocidad, la cultura vial, la edad de la flota vehicular, la eficiencia energética de los vehículos y las condiciones geográficas de las ciudades (clima, altura y relieve) inciden en la emisión y dispersión de los gases que contaminan el aire (1995, 200-206 pp.).

Los automóviles también son una fuente importante de contaminación acústica en las ciudades. Legorreta identifica tres causas principales: (i) las características de diseño y construcción (tubo de escape, motores, sistemas de transmisión, entre otras), (ii) la forma de manejar (arranques y frenados bruscos y uso inadecuado o innecesario del claxon), y (iii) la congestión vial. Los efectos que la contaminación acústica tiene en la salud de las personas expuestas a ella no son triviales y van más allá de la mera incomodidad. Entre ellos destacan las afectaciones al sistema auditivo, la disminución de la calidad del sueño, el dolor de cabeza y la fatiga mental (Legorreta, 1995, p. 224).

Si bien de manera menos directa que los tres elementos anteriores, los sistemas hidrológicos también se ven trastocados por el uso del automóvil debido a la construcción de vialidades necesarias para su circulación. El remplazar suelos naturales con superficies impermeables reduce la capacidad de filtración del agua hacia los mantos freáticos lo cual también implica un incremento del volumen del agua de escorrentía. Ambos fenómenos aumentan el riesgo de observar inundaciones en la ciudad (Hollis, 1988, 10-11 pp.).

1.1.2. Costos sociales

La desigualdad que ocasiona el acceso diferenciado al automóvil es uno de los costos sociales más destacados en las ciudades que dependen del coche para satisfacer su demanda de transporte. Las personas que no tienen un vehículo ven reducida su movilidad. Los niños, los ancianos, los pobres, las personas con capacidades diferentes y quienes optan por no usar el

automóvil por convicción se encuentran en una situación desventajosa respecto a quienes sí tienen auto debido a que las alternativas de transporte público son reducidas o de mala calidad. Asimismo, dado el patrón de crecimiento disperso que estas ciudades orientadas al automóvil suelen tener, los residentes suburbanos que no poseen automóvil particular tienen un acceso más reducido a otras zonas de la ciudad. En ocasiones, los hogares de bajos a medianos ingresos de las zonas periféricas pueden verse orillados a destinar un importante porcentaje de su ingreso a la adquisición y mantenimiento de un automóvil (Schiller *et al.*, 2010, 13-17 pp.).⁴

También se restringe la construcción de comunidad debido a que las interacciones casuales entre individuos que podrían ocurrir en el transporte público o en las vías peatonales son reducidos o dificultados por la prevalencia del automóvil (Newman y Kenworthy, 1999, p. 42).

Negrete Salas apunta que “el uso creciente del automóvil alimenta el desarrollo de estilos de vida a cada vez más sedentarios, lo que tiene como resultado efectos negativos sobre la salud y la calidad de vida, sobre todo por lo que a las enfermedades cardiovasculares se refiere”. Posteriormente, señala otro costo social: los accidentes automovilísticos provocan muchas muertes y lesiones (Negrete Salas, 2008, p. 300).

1.1.3. Costos económicos

El aumento del congestionamiento de los vehículos motorizados pone en peligro la movilidad debido a que acarrea grandes costos para la economía y crea un efecto contrario al deseado, es decir, en vez de observarse un aumento de la movilidad debido al incremento del uso del automóvil, la congestión termina por reducir la capacidad de los individuos para desplazarse (Negrete Salas, 2008, p, 300).⁵

Según Bull y Thompson, los principales costos de la congestión vehicular son las pérdidas de tiempo personal y el aumento de los costos operacionales de los vehículos, ya sea de los automóviles particulares, que son los principales responsables de la congestión, o de las unidades del transporte público expuestas a ella. Estas demoras de tiempo implican

⁴ El tema de la dependencia al automóvil en las ciudades es revisado con mayor detalle en el apartado 1.2.1. del presente trabajo.

⁵ La congestión se define técnicamente como “la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás”.

costos más altos para los servicios de transporte público debido a que se requieren más unidades con sus respectivos operadores para continuar satisfaciendo la demanda de transporte, lo cual tiene por consecuencia un incremento de las tarifas (Thompson y Bull, 2001, 23-24 pp.). Asumiendo que en términos generales los usuarios del transporte público tienen un ingreso menor que los automovilistas, el aumento de tarifas causado por la congestión es de carácter regresivo.

De acuerdo con un estudio de Aschauer y Campbell el gasto en transporte público tiene dos veces mayor potencial de aumentar la productividad del trabajador en comparación con el gasto destinado a construcción de vialidades para el automóvil. Ambos autores también concluyen que los beneficios netos del gasto en transporte público pueden verse reflejados con mayor velocidad en la economía que el gasto destinado a autovías (en Newman y Kenworthy, 1999, 55-56 pp.). Según este estudio, al destinar recursos públicos a la construcción y manejo de autovías, no se están distribuyendo de la manera más eficiente.

Algunos de los costos sociales y ambientales que tienen consecuencias de salud pública dan origen a costos económicos. En primer lugar están los costos relacionados con la atención médica requerida por las víctimas de accidentes viales. En segundo lugar están los servicios de salud que deben proporcionarse a las personas que enferman por la mala calidad del aire de las ciudades, así como el incremento en el costo de atención de la población de por sí vulnerable. Finalmente, si bien de manera menos obvia, debe tomarse en cuenta los costos relacionados con los efectos de la obesidad y el sedentarismo asociados al uso del automóvil (Schiller *et al.*, 2010, 11-12 pp.).

La relevancia de la elección de modo de transporte es tal que la Organización de Naciones Unidas (ONU) a incluido el tema en su Agenda 2030. Específicamente, una de las metas del undécimo Objetivo de Desarrollo Sostenible reza que se debe “proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, mediante la ampliación del transporte público” (ONU México, 2017).

1.2. Paradigmas del transporte urbano

Históricamente el transporte ha sido un elemento fundamental para diversos aspectos de la vida urbana, tales como el surgimiento y emplazamiento de las ciudades, su forma y tamaño, e incluso su viabilidad a largo plazo y la calidad de vida de sus habitantes. El laureado

economista británico Colin Clark en su texto clásico *Transport: Maker and Breaker of Cities* realizó un recorrido histórico en el que da cuenta de la relevancia del transporte para las ciudades. En su artículo queda de manifiesto un interesante fenómeno: durante la mayor parte de la historia (prácticamente desde el surgimiento de las primeras ciudades hasta el siglo XIX) la relación entre transporte y ciudades se centraba casi de manera unívoca en los largos recorridos que facilitaban el traslado de mercancías, personas e información entre urbes. Sin embargo, a partir del siglo XIX, y de manera mucho más acentuada en los dos siglos posteriores, el transporte de pasajeros que se realiza dentro de la misma ciudad adquirió cada vez mayor relevancia (Clark, 1958, 237-250 pp.).

En este primer apartado se presentan los dos principales paradigmas del transporte urbano. El primero, surgido desde que el automóvil comenzó a ser utilizado masivamente por los habitantes de la ciudad, fue durante décadas la única forma de entender y dar solución a los problemas de transporte. Con el tiempo este paradigma probó su insostenibilidad en el tiempo, situación ante la cual se gestó una nueva forma de entender las necesidades de transporte en las urbes.

1.2.1. Paradigma *Business as Usual* (enfoque de movilidad)

Desde que los automóviles comenzaron a ser utilizados masivamente por los habitantes de las ciudades estadounidenses hasta las últimas dos décadas del siglo XX, la única forma de resolver los problemas del transporte urbano había sido mediante el aumento de la oferta de calles, caminos, periféricos, segundos pisos, autopistas urbanas y demás tipos de infraestructura orientada hacia el automóvil privado.⁶

En su modelo de cuatro etapas en el que describe el vínculo entre la evolución del transporte urbano y la forma urbana de las ciudades estadounidenses, Muller expone cómo durante la etapa tres, iniciada en 1920 y conocida como “era del auto recreativo”, los sistemas de transporte público (por entonces basados principalmente en tranvías), entraron en una crisis financiera debido a que los desarrolladores inmobiliarios dejaron de subsidiar a las compañías tranviarias dado que el automóvil hizo posible el acceso a suelo alejado de las

⁶ Un viaje se define como el desplazamiento de una persona asociado a un origen y un destino preestablecidos con un propósito determinado. No debe confundirse con el concepto de “tramo”, el cual refiere a la parte de viaje que se realiza sin cambio de modo de transporte (Islas Rivera, 2000, 526-27 pp.)

estaciones de transporte público. Sin este subsidio y ante el impedimento legal de subir las tarifas, las compañías tranviarias pronto dejaron de ser rentables y cada vez les fue más complicado acceder a financiamiento en el mercado de dinero (Muller, 2004, p. 70).⁷ La presión financiera pronto se convirtió en una caída de la calidad, en términos de aglomeración y mantenimiento de los tranvías (Schiller *et al.*, 2010, p. 70). Esto reforzó la tendencia de los usuarios de transporte público a optar por el automóvil privado.

Retomando el modelo de Muller para las ciudades estadounidenses, la era del automóvil recreativo llegó a su fin cuando la cantidad de automóviles utilizada por los habitantes de las ciudades superó la capacidad de las vialidades, dando origen a severos problemas de congestión. A ésta le sucedió una cuarta etapa, que se ha observado desde 1945 hasta la actualidad, conocida como “era de las autopistas urbanas”. En ésta, se ha construido infraestructura orientada al uso del automóvil, a fin de aumentar la oferta de vialidades y resolver los problemas observados a fines de la etapa tres (Muller, 2004, 69-80 pp.).

Schiller, Bruun y Kenworthy conceptualizan al paradigma dominante como *business as usual* (BAU).⁸ El paradigma BAU busca facilitar la movilidad de personas y mercancías. El objetivo de cada intervención en los sistemas de transporte es mover más elementos a mayor velocidad. Sin embargo, como se observó en la descripción del modelo de Muller, para lograr ese objetivo, se favorece un único modo de transporte, lo cual va en detrimento de los demás. En el mismo sentido, el tener conexiones entre modos de transporte que permitan hacer cambios modales de manera eficiente no es una prioridad. La planeación de

⁷ Además de las dos etapas someramente descritas en el texto, durante la primera etapa del modelo de Mueller, conocida como “era peatonal y de carros de tracción animal” y que va de 1800 a 1890, las ciudades podían ser recorridas a pie en un tiempo no mayor a 45 minutos. A mediados del siglo XIX, algunas ciudades comenzaron a utilizar servicios de carros tirados por caballos, los cuales posteriormente se hicieron circular sobre rieles a fin de aumentar la capacidad y la comodidad, y de tener un uso más eficiente de los caballos de fuerza. Durante esta etapa, las ciudades tuvieron una forma circular. Posteriormente, de 1890 a 1920 se observó la era del tranvía. El nuevo modo se difundió rápidamente por las ciudades estadounidenses debido a que reducía los costos de alimentación y crianza de los caballos, además de que evitaba la vulnerabilidad del sistema de transporte ante enfermedades equinas. Asimismo, el aumento de las velocidades de recorrido posibilitó el acceso a más suelo. No obstante, el desarrollo inmobiliario se concentró en las cuadras aledañas a las vialidades donde se había realizado el tendido férreo para que circulara el tranvía, a fin de facilitar el arribo a pie a las estaciones. Así, las ciudades pasaron de la forma circular de la primera etapa a una forma de estrella, en la que las partes más prominentes eran ocasionadas por el paso del tranvía (Mueller, 2004, 59-85 pp.).

⁸ *Business as usual* es una expresión utilizada en el idioma inglés para referir a la ejecución normal de las funciones en una organización o sistema. La expresión no necesariamente niega la existencia de cambios internos o externos que modifiquen la manera en que se ejecutan las acciones, más bien plantea una forma particular de enfrentar los cambios. En español son utilizados los términos “línea base” y “status quo” para referir a la misma situación.

los sistemas de transporte se realiza principalmente con base en proyecciones de demanda probable. A esta forma de planear se le conoce como “prever y proveer”. Asimismo, la planeación suele realizarse sin vinculación alguna con otras dimensiones importantes para las ciudades, tales como el medio ambiente y las consecuencias sociales de los proyectos. En consecuencia, los costos no pecuniarios, como lo son los sociales y los ambientales, normalmente son ignorados (Schiller *et al.*, 2010, 2-3 pp.).

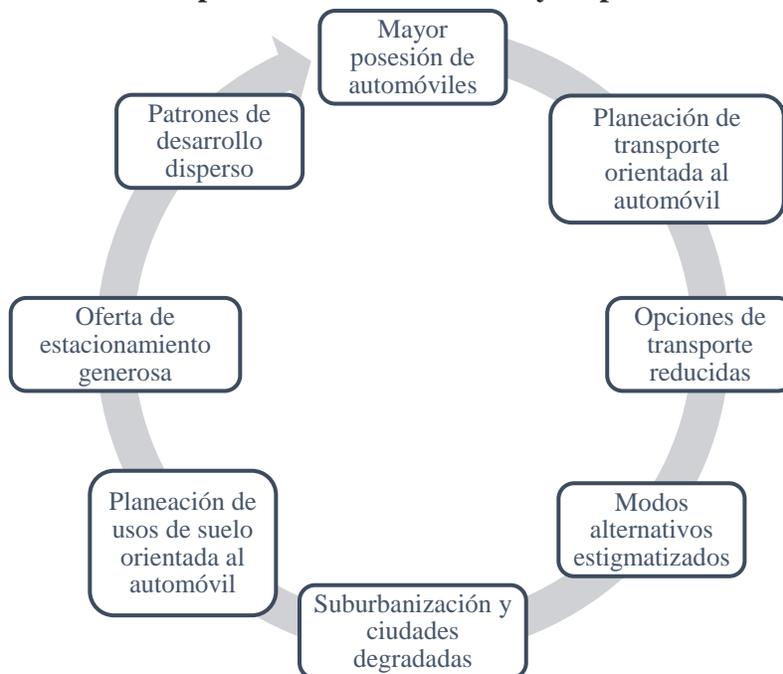
De acuerdo con Adams, a finales del segundo milenio se asistía a un escenario de hipermovilidad, es decir, un momento histórico en el que los beneficios de la movilidad, la cual es percibida generalmente como un síntoma inequívoco de progreso, habían sido superados por sus costos sociales y ambientales (Adams, 2000, p. 95). Entre las consecuencias de la hipermovilidad se cuentan (i) la dispersión urbana, (ii) la polarización entre las personas con alta movilidad y las de baja movilidad, (iii) el riesgo para niños, ciclistas y peatones, (iv) la obesidad, (v) la pérdida de sentido de comunidad y (vi) menos democracia y participación ciudadana (Adams, 2005, 5-8 pp.).⁹

Litman y Laube han identificado un ciclo que perpetúa la dependencia del automóvil, la cual se define como la existencia de “altos niveles per cápita de viajes en automóvil, patrones de uso de suelo orientados al automóvil y alternativas de transporte reducidas” (Litman y Laube, 2002, p.1). Como se puede observar en la figura 1.1, ante el aumento del uso del automóvil, las políticas públicas y la planeación del transporte imbuidas en el paradigma BAU se orientan al aumento de la oferta vial para el automóvil privado. Esto implica que el gasto público se oriente a ese rubro y desatienda los demás modos de transporte (especialmente los no motorizados), los cuales ante una potencial caída de calidad o al implicar mayor riesgo comienzan a ser mal vistos o estigmatizados por algunos sectores de la sociedad. A continuación, el desarrollo inmobiliario se realiza principalmente en los suburbios, motivo por el cual los usos de suelo también se orientan a satisfacer las necesidades de los automovilistas suburbanos, entre las cuales destaca la provisión de cajones de estacionamiento. En suma, se ha construido un patrón disperso de la expansión de la

⁹ En los primeros párrafos de su artículo, Adams hace referencia a los problemas ambientales derivados del creciente número de automóviles y de viajes en avión, aunque no menciona el tema ambiental en su listado. Nótese que las consecuencias de la hipermovilidad corresponden con los costos presentados en el primer apartado del capítulo.

mancha urbana y se han creado los incentivos adecuados para que los habitantes de la ciudad opten por comprar un automóvil (Litman y Laube, 2002, p.1) (Litman, 2012, p.9).

Figura 1.1. Ciclo de dependencia del automóvil y dispersión de las ciudades



Fuente: elaboración propia basada en Litman, 2012, p. 9

El descarte de los costos sociales y ambientales del transporte ocasionado por la desconexión entre la planeación y otros aspectos urbanos ha sido estudiado desde la economía urbana. Este problema está estrechamente relacionado con el concepto de “externalidad” que ocurre cuando los costos o los beneficios de una transacción son experimentados por un agente económico diferente al consumidor y al oferente (O’Sullivan, 2012, p.9). Por ejemplo, los costos ambientales y de salud pública ocasionados por el consumo de gasolina que son asumidos por todos los habitantes de la ciudad, incluso por aquéllos que no la consumen.

A lo anterior debe sumarse el fenómeno conocido como tráfico inducido. Éste se define *in extenso* a continuación:

“el incremento en viajes que ocurre como resultado de un aumento de la capacidad vial y normalmente se mide como un incremento en los VKT [kilómetros-vehículo recorridos]. En este contexto, se considera tráfico inducido a aquellos viajes que se generan por la nueva vialidad, a los viajes provenientes de una nueva distribución a nuevos destinos, a un cambio en

el modo de transporte o a desviaciones para utilizar rutas más rápidas pero más largas en kilómetros” (Galindo *et al.*, 2006, p. 125).

Estudios empíricos han confirmado la existencia del tráfico inducido (por ejemplo, en el caso mexicano según Galindo *et al.*), lo cual supone que las soluciones planteadas por el paradigma BAU, no hacen más que agravar los problemas que originalmente buscan resolver.

Algunos académicos hablan de la existencia de una cultura del automóvil, la cual se define como “el conjunto de factores sociales que apuntala y mantiene la dependencia del automóvil” (Schiller, p. 31). Los sociólogos británicos Dennis y Urry identifican un conjunto de factores que dieron origen al auge del automóvil. Uno de ellos refiere a lo que representa el automóvil más allá de sus cualidades como modo de transporte, así como a qué emociones transmite o se le asocian, y por qué se ha convertido en un bien tan aspiracional. A continuación se cita *in extenso* el fragmento mencionado (Dennis y Urry, 2011, p. 51):

Los automóviles proporcionan un estatus a sus propietarios a través de las ideas de velocidad, la seguridad, la protección, el éxito sexual, el éxito profesional, la libertad, la familia y la masculinidad. En términos generales, hay una serie de «emociones automovilísticas» inherentes al hecho de poseer y ser dueño de un automóvil.¹⁰

Ante la insostenibilidad de este paradigma, con el tiempo surgieron nuevos planteamientos que dieron origen a un enfoque alternativo.

1.2.2. Paradigma de transporte sostenible

Durante el último tercio del siglo XX se gestó un paradigma de transporte alternativo al BAU. Fueron tres los factores que visibilizaron el agotamiento del BAU y que dieron origen a este cambio. En primer lugar, desde los años setenta se comenzó a observar las consecuencias negativas de la planeación orientada al automóvil, principalmente en lo que respecta a los problemas ambientales ocasionados.¹¹ En segundo lugar, se reconoció que la reducción del tránsito vehicular y la peatonalización aportaban beneficios para la movilidad y el medio

¹⁰ Además de lo mencionado en la cita textual, Dennis y Urry incluyen entre los factores que dieron origen al auge del automóvil en el siglo XX a (i) la importancia de las compañías que se dedican a producirlos, (ii) su importancia como artículo de consumo, (iii) su conexión con otras instituciones, industrias y profesiones y (iv) la simulación de las comodidades del hogar que existe en su interior (2009, 50-52 pp.)

¹¹ No obstante, los problemas ambientales no eran los únicos ocasionados por el automóvil. Una de las organizaciones civiles que cabildó para que Ámsterdam se convirtiera en la capital mundial de la bicicleta tuvo su origen en el alto número de niños heridos y muertos en atropellamientos (Véase Van der Zee, 2015)

ambiente urbano. Asimismo, se observó la reducción de heridos en accidentes viales (especialmente en peatones y ciclistas). En tercer lugar, la publicación en 1987 del Informe Brundtland elaborado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU ocasionó un aumento de la conciencia global de la importancia de la sostenibilidad. Entre las aportaciones más célebres del Informe Brundtland destaca la definición de desarrollo sostenible, el cual se entiende como “el desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de cumplir sus propias necesidades” (Schiller *et al.*, 2010, 3-4pp.).

El paradigma del transporte sostenible se concentra en aumentar la accesibilidad y la calidad del transporte. Se prefiere que los puntos de origen y destino (por ejemplo, hogares y centros de empleo o de educación) estén cerca el uno del otro. En vez de favorecer un único modo de transporte, se prefiere la multimodalidad, es decir, se busca que los diversos modos se complementen entre sí. Para ello es fundamental que las conexiones entre los modos faciliten la realización de los cambios intermodales. La planeación se realiza con base en una visión a la cual se debe aspirar y a partir de ella se toman las acciones adecuadas para lograr esa meta. A esta forma de concebir la planeación se le conoce como “deliberar y decidir”. Asimismo, la planeación se lleva a cabo en coordinación con otras áreas relevantes de la urbe (por ejemplo, vivienda). En virtud de este enfoque más integral, los costos ambientales y sociales también son tomados en cuenta en los proyectos de transporte, o como se plantearía desde la economía urbana, se busca internalizar dichos costos a fin de suprimir las externalidades.¹² Finalmente, en vez de enfocarse en aumentar la oferta de vialidades, el transporte sostenible se plantea resolver los problemas de transporte mediante la gestión de la demanda (Schiller *et al.*, 2010, 3-4pp.).

Para que un sistema de transporte sea realmente sostenible, debe cumplir con las tres dimensiones del desarrollo sostenible, por lo tanto, debe respetar los límites ecológicos (esfera ambiental), asegurar la eficiencia de los desplazamientos desde un punto de vista económico (esfera económica) y asegurar la equidad (esfera social) (Poliquin, 2012, p. 20).

Un componente importante del paradigma del transporte sostenible es la gestión de la demanda, que se refiere a “políticas y programas que cambian el comportamiento de viaje

¹² Como ejemplos de internalizar los costos del transporte son el aumentar los precios de las gasolinas o el cobro de cuotas por uso de caminos y vialidades (Banister, 2008, 78-79-pp.).

para aumentar la eficiencia del sistema de transporte”. Tales cambios pueden ser en la elección de modo, en el destino y en la frecuencia de los viajes. Litman sostiene que la implementación de programas integrados de gestión de demanda puede reducir la participación del automóvil en el reparto modal y son más baratos que las soluciones que se proponen desde el paradigma BAU (Litman, 2010, p.14).

A pesar del surgimiento del paradigma del transporte sostenible, la transición desde el paradigma BAU no ha ocurrido de manera automática. Su introducción en las ciudades no ha estado exenta de obstáculos y rigideces, ya sean de los tomadores de decisiones, del sector empresarial o de los individuos en su calidad de usuarios de los sistemas de transporte urbano. El geógrafo británico David Banister elaboró la siguiente tipología de barreras a la puesta en práctica del transporte sostenible (Banister, 2005, 55-56 pp.):

1. Barreras de recursos: se refiere a la falta de recursos financieros o físicos necesarios para la realización de algún proyecto o medida de transporte sostenible. Es poco probable que algún nivel de gobierno destine fondos al transporte sostenible si éste no está entre sus prioridades programáticas.
2. Barreras institucionales y de políticas públicas: se refiere a la falta de coordinación entre dependencias o niveles de gobierno, así como a la existencia de conflictos entre políticas públicas. Una organización administrativa inestable y un personal de baja calificación reduce la capacidad para superar este tipo de barreras.
3. Barreras sociales y culturales: este tipo de barreras son una función del nivel de aceptación pública de las medidas de transporte sostenible. Aunque en teoría una medida beneficie el medio ambiente urbano y la calidad de vida, sus consecuencias serán mínimas si no cuenta con la aceptación de la sociedad. El nivel de aceptación en ocasiones puede depender de medidas de incentivos (*pull*) o de medidas de coerción (*push*). Mientras las primeras suelen ser bien recibidas, las segundas por lo general conllevan un rechazo generalizado (al menos de inicio).
4. Barreras legales: ocurren cuando las medidas de transporte sostenible son obstaculizadas o incluso imposibilitadas por el marco normativo, ya sea del transporte o de otros ámbitos.

5. Efectos secundarios: casi cualquier medida de transporte sostenible tiene efectos secundarios. En caso de que estos sean negativos, pueden obstaculizar la puesta en práctica de la medida a mayor escala.
6. Barreras físicas: se refieren a las restricciones de espacio o por causa de la topografía del territorio.

Asimismo, Banister identificó un conjunto necesario de condiciones para superar este tipo de barreras y lograr la implementación de medidas y proyectos orientados al transporte sostenible. A continuación se enumeran tales condiciones (Banister, 2005, 58-60 pp.):

1. Un marco nacional de políticas públicas sobre desarrollo espacial: se requiere un marco de esta índole para proveer una perspectiva de largo plazo y favorecer la consistencia de las medidas mediante una integración vertical (entre niveles de gobierno) y horizontal (entre diferentes sectores) de la administración pública.
2. Una estrategia de transporte sostenible: esta estrategia debe estar inscrita en el marco nacional descrito en el primer punto y debe enfocarse en maximizar el uso del transporte público, minimizar la dispersión urbana y mejorar la calidad del aire mediante la reducción de emisiones contaminantes.
3. Descentralización de poderes y responsabilidades en materia de transporte: en ocasiones, la puesta en práctica de medidas de transporte sostenible, recomendadas desde el ámbito nacional, se ven comprometidas por las limitadas capacidades de las autoridades locales. Por lo tanto, es necesario que éstas tengan las capacidades de recaudación necesarias para financiar los proyectos o medidas.
4. Políticas públicas congruentes: esta condición es necesaria para evitar efectos perversos de políticas públicas que puedan neutralizar los beneficios de alguna medida orientada al transporte sostenible.¹³
5. Aceptación pública y privada de las políticas públicas: es sólo hasta que una política pública de transporte sostenible es aceptada por la sociedad, que su éxito se vuelve probable (que no garantizado). El involucrar a la ciudadanía y una buena

¹³ El ejemplo dado por Banister a fin de explicar mejor esta condición es el aumento del tránsito vehicular al autorizar algún desarrollo inmobiliario en la periferia urbana. Aunque el gobierno local puede estar orientado a la promoción del transporte sostenible, el conceder este tipo de permisos podría neutralizar sus medidas.

comunicación pública se vuelven fundamentales para lograr la aceptación de alguna política que sea controversial en un inicio.¹⁴

En suma, desde el paradigma del transporte sostenible se busca “diseñar ciudades de tal calidad y escala que la gente no necesite tener un automóvil” (Banister, 2008, p. 74).

1.3. La motilidad en tanto concepto seminal del modelo de elección modal de De Witte *et al.* En la bibliografía sobre elección modal es posible distinguir tres enfoques principales: (i) el racionalista, (ii) el sociogeográfico y (iii) el sociopsicológico. El primero hace eco de los supuestos revisados en el paradigma de racionalidad sustantiva, pues establece que los viajeros buscan maximizar su utilidad mediante la reducción de tiempo de traslado y costos. Por lo tanto, son estos dos últimos los principales determinantes estudiados desde este enfoque. En segundo lugar, el enfoque sociogeográfico introduce el componente espacial en la elección modal. En tercer lugar, el enfoque sociopsicológico explica la elección modal mediante el estudio de las actitudes que los individuos tienen hacia los modos de transporte disponibles. Este enfoque se diferencia de los dos primeros al proponer que no sólo las variables objetivas son relevantes para la elección modal, sino que también hay un componente subjetivo que influye sobre ella (De Witte *et al.*, 2013, p. 331).

La elección modal ha sido estudiada desde diversas disciplinas, sin embargo no existe una propuesta teórica que trate de amalgamar las aportaciones de los diversos enfoques mediante una perspectiva más interdisciplinaria. Ante este vacío, en el primer lustro del siglo XXI, el sociólogo suizo Vincent Kaufmann importó un concepto propio de las ciencias naturales y lo utilizó en temas de transporte urbano a fin de describir y analizar el potencial de movilidad de un actor (Flamm y Kaufmann, 2006, p. 168).^{15, 16}

¹⁴ El caso de estudio mencionado por Banister es la puesta en práctica de los cargos por congestión en el área central de Londres.

¹⁵ Aunque el concepto de motilidad también ha sido utilizado para tratar temas de transporte de larga distancia e incluso migración, la gran mayoría de la bibliografía revisada que lo utiliza se enfoca en temas de transporte urbano.

¹⁶ Según Kaufmann *et al.*, el término motilidad es usado en biología y medicina para referir a la capacidad para moverse de un organismo (2004, p. 750). De acuerdo con el Diccionario de la Real Academia española, el concepto tiene dos acepciones. Primero se define como facultad de moverse y específicamente en el ámbito de la medicina, como la capacidad de realizar movimientos complejos y coordinados (2018).

Motilidad se define como “la capacidad de algún ente (por ejemplo, bienes, información y personas) de ser móvil en el espacio social y geográfico o como la manera en la que las entidades acceden y se apropian de la capacidad de movilidad socioespacial de acuerdo con sus circunstancias” (Kaufmann *et al.*, 2004, p. 750). En una publicación posterior, Kaufmann junto con Michael Flamm definen motilidad como “la manera en la que un individuo o grupo se apropia del universo de posibilidades para la movilidad y se basa en ella para desarrollar proyectos personales. Este potencial no necesariamente se transforma en viajes” (Flamm y Kaufmann, 2006, p. 168). Como se puede observar, la segunda definición se enfoca exclusivamente en el movimiento de seres humanos.

La motilidad comprende los siguientes elementos interdependientes (Kaufmann *et al.*, 2004, p. 750):

1. Acceso: se refiere al rango de posibles movilidades de acuerdo con el espacio, el tiempo y otras restricciones circunstanciales y puede ser influido por redes y dinámicas territoriales. El acceso depende tanto de las opciones como de las condiciones. Las primeras refieren a los modos de transporte disponibles, mientras las segundas lo hacen a la accesibilidad de las opciones en términos de costos, logística, horarios, etc.
2. Competencia: se refiere a las habilidades que pueden afectar directa o indirectamente al acceso y la apropiación. A su vez, tres aspectos componen a este elemento. En primer lugar, está la habilidad física. En segundo lugar, están las habilidades adquiridas y en tercer lugar las habilidades organizacionales.
3. Apropiación: se refiere a la manera en que los agentes interpretan y actúan ante el acceso y las habilidades. La apropiación es influida por necesidades, planes y aspiraciones de los agentes, y se relaciona con estrategias, motivos, valores y hábitos. La apropiación también describe cómo los agentes consideran y eligen una opción en específico.¹⁷

¹⁷ En el texto de Flamm y Kaufmann, los autores retoman la lista referida, pero al segundo elemento le llaman “habilidades” y al tercer elemento le nombran “apropiación cognitiva (Véase Flamm y Kaufmann, 2006, p. 169). Se eligió la descripción del texto de Kaufmann, Joye y Bergman por tener una descripción más detallada de los tres elementos.

“La motilidad se enfoca en la lógica detrás de las acciones de los actores, particularmente en las razones detrás de la elección de herramientas y localizaciones”. En suma, motilidad se concentra en cómo un actor construye su relación con el espacio y no tanto en las posibilidades que el territorio le da (Kaufmann y Flamm, 2006, p. 169).

Al tratar de operacionalizar los conceptos anteriores, Kaufmann y Flamm identifican en primer lugar un conjunto de derechos de acceso entre los que incluyen a la propiedad de un automóvil, la posibilidad de tener lugares de estacionamiento reservados, propiedad de motocicletas o bicicletas y la posibilidad de compra de boletos de transporte público. La composición del portafolio personal de derechos de acceso influye en la motilidad del individuo (Kaufmann y Flamm, 2006, 171-172 pp.).¹⁸

En segundo lugar, en lo que respecta al elemento de competencias de la motilidad, los autores identifican la importancia de tener licencia de conducir, la existencia de impedimentos físicos o psicológicos, el conocimiento del territorio, la habilidad para realizar tiempos estimados de viaje y la posibilidad de reaccionar adecuadamente ante situaciones de estrés o peligro (Flamm y Kaufmann, 2006, 175-176 pp.).

Finalmente, en lo referente a la apropiación, los individuos forman representaciones cognitivas de los diferentes modos de transporte, y al hacerlo definen de manera más o menos consciente el tipo de situaciones en las cuales optarían por usar algún modo en específico. Incluso pueden llegar a excluir “por cuestión de principios” algún modo de transporte (Flamm y Kaufmann, 2006, p. 178).

1.4. El concepto de elección modal

De Witte *et al.* consideran que el concepto de motilidad incorpora los tres enfoques principales de los estudios de elección modal (racional, sociogeográfico y sociopsicológico), constituyendo así un acercamiento de carácter multidisciplinario al objeto de estudio, en el

¹⁸ La multiplicidad de recursos instrumentales con los que un individuo cuenta para realizar viajes conforma el portafolio personal de derechos de acceso (Flamm y Kaufmann, 2006, p. 172). El uso de la palabra “portafolio” tiene la intención de fungir como referencia a los portafolios financieros debido a que su composición busca la optimización de las capacidades de movimiento de un individuo. Otra similitud es que la estrategia del individuo también tiene por objetivo controlar la incertidumbre e incluso llega a adquirir derechos de acceso para garantizar la movilidad en caso de situaciones excepcionales. Finalmente, al igual que en el caso de los portafolios de inversión, los cambios en el portafolio de derechos de acceso tienen costos de transacción (Flamm y Kaufmann, 2006, p. 186).

que la economía, la geografía del transporte y la psicología social tienen contacto entre sí (De Witte, *et al.*, 2013, p. 331).

Por ello deciden abreviar de la motilidad y proponen que la **elección modal se defina como “el proceso de toma de decisión que se realiza para elegir entre diferentes alternativas de transporte, el cual es determinado por la combinación de factores sociodemográficos individuales y características espaciales, e influido por factores sociopsicológicos” (De Witte, *et al.*, 2013, p. 331).**

Cada modo tiene las siguientes características: (i) capacidad, (ii) velocidad comercial, (iii) cobertura espacial y temporal, (iv) fiabilidad (engloba frecuencia, regularidad y puntualidad), (v) comodidad, (vi) seguridad, (vii) flexibilidad, (viii) integración ambiental y (ix) costos (Cendrero Agenjo y Truyols Mateu, 2015, 14-15 pp.).

Antes de explorar el modelo de manera detallada, primero vale la pena describir dos paradigmas de la toma de decisiones, a saber, el de racionalidad sustantiva y el de “salir del paso”¹⁹.

El paradigma de racionalidad sustantiva supone que se conocen los objetivos propios, así como las opciones que se tienen para cumplirlos, y que incluso es posible cuantificar los costos y beneficios de éstas. También supone que los individuos tienen acceso a toda la información disponible de las opciones que se les presentan. Por lo tanto, el problema de la toma de decisión se basa en la elección de alternativas, las cuales aportan una utilidad. Los mejores resultados se obtienen de un proceso consciente de maximización (Ortúzar y Willumsen, 2011). Existe una crítica explícita de la aplicación de los supuestos de este paradigma al transporte. Por ejemplo, Banister apunta que “los argumentos económicos comúnmente utilizados de racionalidad y conocimiento total parecen no ser aplicables al transporte” (Banister, 2008, p. 76).

En contraste, el paradigma de “salir del paso” supone el establecimiento de objetivos generales que sólo sirven como referencia. Para comprender adecuadamente los problemas de elección, no se necesita cuantificar, sino entender adecuadamente el contexto en el que se inscribe el problema. Asimismo, reconoce que el medio es incierto y que es imposible identificar los eventos que pueden ocurrir en el futuro; y acepta que nunca se tendrá todo el espectro de opciones y mucho menos se contará con toda la información de cada una de ellas.

¹⁹ Este paradigma de la toma de decisiones se conoce en inglés como *muddling through*.

Los resultados esperados se obtienen de un proceso de experimentación y adaptación a condiciones que están en constante cambio (Ortúzar y Willumsen, 2011).

En un escenario en el que la información sobre las opciones de transporte es cada vez mayor, desde el primer paradigma podría pensarse que lo único relevante de dicha información es su contenido. No obstante, se ha identificado que la manera en que la información se presenta afecta la forma en que ésta es interpretada, a tal grado que puede llevar a los individuos a violar algunos de los supuestos de racionalidad mencionados en el primer paradigma (Waygood *et al.*, 315-16 pp.).

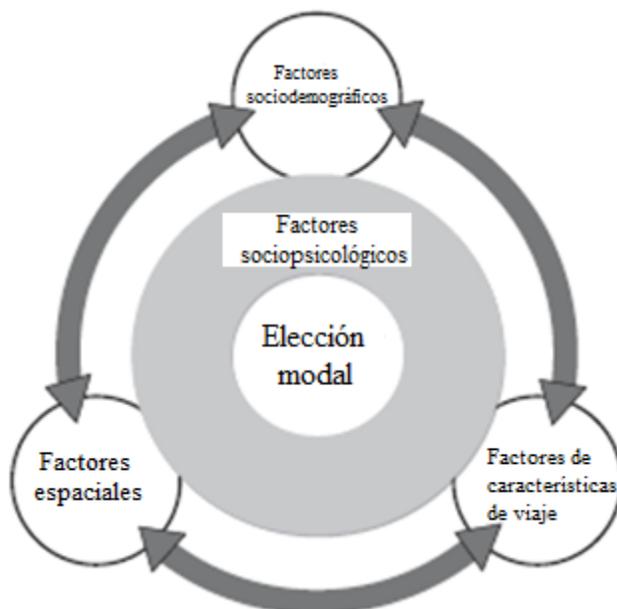
1.5. El modelo de elección modal de De Witte *et al.*

A partir de la definición de elección modal, De Witte *et al.* hacen distinciones entre la función que cumplen los tipos de factores señalados. Mientras los factores sociodemográficos y espaciales determinan las opciones de transporte a las que un individuo tiene acceso, son los factores sociopsicológicos los que influyen directamente sobre la forma en la que actuará el individuo ante las opciones con las que cuenta. Esta influencia es el resultado de percepciones, valores y normas sociales, actitudes y preferencias personales o hábitos (De Witte *et al.*, 2013, p. 331).

En la figura 1.2 se presenta el esquema mediante el cual los autores representan gráficamente su modelo de elección modal. En los tres círculos exteriores están tres tipos de determinantes, a saber, los sociodemográficos, los espaciales y los de las características del viaje (si bien estos últimos no son mencionados en la definición de elección modal). Las flechas de conexión entre estos círculos representan las interrelaciones y dependencias entre estos factores, los cuales tienen correspondencia con los elementos de la motilidad de acceso y competencia (De Witte *et al.*, 2013, p. 331).

Al centro se observan dos círculos concéntricos. El círculo exterior representa la influencia de los factores sociopsicológicos, los cuales tienen correspondencia con el elemento de la motilidad de apropiación. En el círculo concéntrico central está la elección modal como tal y representa el resultado de las interacciones entre los tres factores de los círculos exteriores y los factores sociopsicológicos (De Witte *et al.*, 2013, p. 331).

Figura 1.2. Esquema de los factores de la elección modal



Nota: el texto de la figura fue editado para traducirlo al español.
Fuente: figura tomada de De Witte *et al.* (2013).

En el cuadro 1.2 se presentan una lista de factores de elección modal presentada por De Witte *et al.* Estos factores están clasificados en los tipos señalados en la figura 1.2.

Cuadro 1.2. Lista de factores de la elección modal clasificados por tipo

Sociodemográficos	Espaciales	Características de viaje	Sociopsicológicos
Edad	Densidad	Motivo de viaje	Experiencia
Género	Diversidad de uso de suelo	Distancia	Familiaridad
Educación	Proximidad a infraestructura	Tiempo de viaje	Estilo de vida
Ocupación	Frecuencia del TP	Costo de viaje	Hábitos
Ingreso	Acceso a estacionamiento	Hora de salida	Percepciones
Composición del hogar		Condiciones climáticas	

Disponibilidad de auto	Información
	Trasbordos
	Encadenamiento de viajes

Fuente: elaboración propia con datos de De Witte *et al.* (2013)

Cabe mencionar que los autores no consideran que la lista de 26 factores sea exhaustiva. Aclaran que sólo se mencionan aquéllos que identifican como los más estudiados (De Witte *et al.*, 2013, p. 331).

1.6. Revisión de variables del modelo de De Witte *et al.*

A continuación se realiza una revisión breve de algunos de los factores que influyen en la elección modal. Al igual que en el caso anterior, no se tiene por objetivo hacer una revisión exhaustiva de la bibliografía referente a estos factores, sino familiarizar al lector con la manera en que estos pueden influir a la elección modal. No se busca abarcar toda la lista del cuadro 1.2, sino ciertas variables que se utilizarán en el modelo de la presente investigación. Aunque debido a la naturaleza cuantitativa de este trabajo no se estudiarán propiamente los factores sociopsicológicos, también se hará una breve descripción de ellos en la siguiente revisión.

Antes de comenzar a revisar los factores es pertinente puntualizar que lo que se conoce de la relación entre factores y elección modal se basa en estudios de caso (usualmente enfocados a una sola ciudad o región), por lo cual no es extraño observar resultados diferentes, e incluso contradictorios en lo que respecta a algunos factores.

1.6.1. Factores sociodemográficos

Primero se describen los factores sociodemográficos que, además de lo ya mencionado, configuran la situación individual del viajero, así como parte de sus interacciones sociales (De Witte *et al.*, 2013, p. 333).

a) Sexo

No hay un consenso respecto a cómo el sexo influye en la elección modal (De Witte, A. *et al.*, 2013, p. 333). Algunos estudios sugieren que es más probable que la mujer use el

automóvil privado debido a que realiza una mayor proporción de los mandados del hogar, lo cual se agrega a sus viajes entre hogar y trabajo. Otros estudios presentan que es más probable que las mujeres usen transporte público (De Witte *et al.*, 2013, p. 333). No obstante, se ha reconocido que las diferencias en la movilidad entre hombres y mujeres han tendido a disminuir con el tiempo (Poliquin, 2012, 8-9 pp.)

En el escenario latinoamericano también hay información divergente. En un estudio para la ciudad de Popayán, Colombia, se identificó que la variable de género no era relevante para la elección modal (Liceth et al., 2015, p. 180). Asimismo, Suárez Lastra y Delgado Campos señalan que de acuerdo con la Encuesta Nacional de Movilidad y Transporte (ENMT) 61% de los viajes en automóvil privado son realizados por hombres, mientras que 39% corresponden a viajes de mujeres. Los autores apuntan que “es claro que hay predominancia del hombre sobre la mujer en el uso del auto, que quizá esté relacionada con los viajes al trabajo” (Suárez Lastra y Delgado Campos, 2015, p. 134).

En lo que parece haber mayores coincidencias es que la variable de sexo está estrechamente relacionada con otros factores como ingreso, composición del hogar o estatus laboral, y que estos pueden incluso ser más relevantes que la variable de género *per se* (De Witte *et al.*, 2013, p. 333) (Poliquin, 2012, 8-9 pp.).

Hamilton y Jenkins, además de afirmar que existe una correlación entre las variables de sexo, ingreso y propiedad del automóvil profundizan en la posición que ocupa la mujer en la estructura social. Entre las circunstancias que se derivan de dicha posición que inhiben el uso del automóvil privado entre las mujeres identifican las siguientes: (i) opciones de empleo limitadas debido al tiempo que dedican a las actividades domésticas, lo cual a menudo constriñe a las mujeres a empleos de medio tiempo; (ii) la decisión de dónde vivir se ve principalmente influida por el hombre, quien es percibido como el principal proveedor del hogar y (iii) el retorno al mercado laboral tras un periodo de cuidado de los hijos de tiempo completo suele ocurrir en un trabajo peor pagado que el que la mujer tenía originalmente. Los autores señalan que incluso cuando hay un automóvil disponible en el hogar de la mujer, sólo una minoría tienen un acceso primario a él. Los autores también apuntan que el acceso

de las mujeres al automóvil privado también se vea limitado por factores psicológicos tales como una menor identificación del ego de las mujeres con la posesión del automóvil.²⁰

b) Escolaridad

Tampoco hay consenso en la literatura sobre cómo influye la escolaridad en la elección modal. Por un lado, algunos artículos señalan que a mayor escolaridad es más probable que se utilice el automóvil debido a un aumento en el ingreso. Por otro lado, también hay evidencia de que un mayor nivel educativo lleva a un mayor uso del transporte público (De Witte *et al.*, 2013, p. 333).

En un estudio sobre la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), el economista Raymundo Galán detectó que “al incrementarse el número de años [de escolaridad], la probabilidad de utilizar el coche también aumenta, esto muestra el efecto esperado de que esta variable funciona como un proxy del nivel de ingreso” (Galán, 2005, p. 498).

Así, la escolaridad influye en el empleo, el ingreso, el estatus social y en las habilidades organizacionales. De manera similar al caso de género, es una variable que puede pesar más por sus implicaciones respecto otras, que por ella misma (De Witte *et al.*, 2013, p. 333).

c) Edad

La edad se relaciona con la etapa que vive el individuo en su ciclo de vida, es decir, si es estudiante, trabajador o retirado. Cada una de estas etapas conlleva sus propias necesidades de movilidad (Poliquin, 2012, p. 9). Asimismo, la edad también se vincula con las habilidades físicas para viajar del individuo, las cuales tienden a decrecer a medida que la gente envejece (De Witte *et al.*, 2013, p. 333). Por ejemplo, de acuerdo con la ENMT, en México mientras en el rango de edad de 25 a 65 años 77.6% de las personas realiza viajes, en el rango de 65 años y más, sólo 29.9% de las personas se desplaza cotidianamente (Suárez Lastra y Delgado Campos, 2015, p. 106).

No obstante, tampoco existe consenso respecto al rol de la edad en la elección modal. Algunos estudios identifican una relación positiva entre esta variable y el uso del automóvil

²⁰ Aunque en el siguiente apartado está dedicado a los factores sociopsicológicos que inciden en la elección del automóvil privado, fue pertinente hacer una breve mención de uno de ellos en esta sección debido a su vinculación directa con los roles de género.

privado, mientras otros detectan una relación del mismo signo entre la edad y el uso del transporte público (De Witte *et al.*, 2013, p. 333).

Para el caso de la ZMM, se observa que la variable de edad sólo es significativa para los individuos menores a 26 años, pero no para aquéllos que superan ese umbral etario, lo cual refleja la dificultad para acceder al auto para los jóvenes (Galán González, 2005, p. 499).

d) Ingreso

Los hogares con mayores niveles de ingreso generalmente suelen tener los recursos disponibles para desplazarse en modos motorizados y a viajar menos a pie, mientras los de menores ingresos tienen una tendencia a utilizar menos el vehículo privado (Poliquin, 2012, p. 10). Esto se explica debido a que la población de menores ingresos tiene menor acceso al automóvil (De Witte *et al.*, 2013, p. 333).

Evidencia empírica confirma esta relación entre las variables de ingreso y número de automóviles por hogar. En un estudio de elección del automóvil privado en la zona central de la Ciudad de México, las dos variables independientes con mayor correlación entre sí fueron las mencionadas (Garduño Arredondo, 2013, p. 82).

Aunque esta es una de las variables en las que hay menos disenso entre investigadores, algunos hacen énfasis en que la influencia del ingreso como factor de la elección del automóvil privado depende fuertemente de características del medio ambiente construido (Kenworthy y Laube, 1996, 284-285 pp.).²¹

e) Disponibilidad de automóviles en el hogar

Se ha observado que este es uno de los factores que más influyen en la elección modal. La probabilidad de elegir al automóvil privado para la realización de viajes aumenta si se incrementan el número de automóviles por conductor en el hogar. En contraste, los hogares que carecen de automóviles dependen fuertemente del transporte público (De Witte *et al.*, 2013, p. 334).

²¹ Los autores realizan un estudio sobre diversas ciudades. No obstante, un ejemplo interesante es el caso de Nueva York. Ellos señalan que en Manhattan, con una densidad de 251 habitantes por hectárea, los hogares de más de 75,000 dólares anuales sólo tienen 0.81 automóviles mientras que los hogares de ingreso similar ubicados en la periferia neoyorquina de densidades de 13 personas por hectárea cuentan con 2.61 automóviles.

En un estudio comparativo que analizó los casos de Lyon, Francia y Montreal, Canadá, se observó que el aumento de automóviles disponibles en el hogar por individuo en edad de conducir ocasionó que la participación del transporte público se estancara en la ciudad francesa y retrocediera en la canadiense (Joly *et al.*, 2009, p. 122).

Asimismo, en un estudio realizado para dos delegaciones centrales de la Ciudad de México (Benito Juárez y Cuauhtémoc), se observó que la variable dependiente más importante para explicar el uso del auto era el número de vehículos privados en el hogar (Garduño Arredondo, 2013, p. 85).²²

1.6.2. Factores de características de viaje

A diferencia de los factores sociodemográficos que son propios del individuo, y que por lo tanto son los mismos para todos sus desplazamientos, los factores de característica de viaje pueden variar en función de éste.

a) Propósito de viaje

El propósito de viaje es relevante dado que es el origen de la demanda de movilidad. Algunos estudios indican que los viajes cortos a la escuela son principalmente realizados en modos no motorizados, mientras que respecto a los viajes al trabajo, la participación del transporte público es mayor. En cuanto a los viajes con motivo de ocio o para ir a dejar a alguien a un punto, estos son principalmente realizados en automóvil (De Witte *et al.*, 2013, p. 334).

b) Horario de salida

Según Nurul Habib *et al.*, el horario de salida incide en la elección modal debido a que el transporte público se vuelve menos atractivo fuera de las horas pico debido a que existe un menor nivel de servicio, mientras que el automóvil se vuelve más atractivo en esa franja horaria debido a que hay menos congestión (Nurul Habib *et al.* en De Witte *et al.*, 2013, p. 336). Asimismo, esta variable tiene una fuerte relación con el propósito de viaje debido a que

²² Cabe mencionar que el término legal actual para designar a las áreas administrativas en las que se subdivide el territorio de la Ciudad de México es demarcación territorial, el cual es gobernado por una alcaldía. Se optó por utilizar “delegaciones”, debido a que esa era la designación oficial al momento de la realización del estudio referido. Para conocer las definiciones precisas de demarcación territorial y alcaldía, consúltense los artículos 52 y 53, respectivamente, de la Constitución Política de la Ciudad de México.

las personas cuyo objetivo es ir a trabajar o a la escuela prácticamente se ven obligadas a transportarse durante las horas pico, mientras que es probable que las personas que tienen otros propósitos no tengan esa restricción de horario (De Witte *et al.*, 2013, p. 336).

c) Distancia

Se observa que a mayores distancias por viajar, se preferirán los modos más rápidos (De Witte *et al.*, 2013, p. 335). Rietveld identifica en el caso neerlandés que para los desplazamientos más cercanos al hogar se opta por caminar, al incrementar la distancia se utiliza la bicicleta y para distancias más largas se prefiere utilizar el transporte público. No obstante, este estudio no toma en cuenta el uso del automóvil (Rietveld, 2000). No se ha observado que la distancia sea un factor con alto peso relativo en la elección modal (De Witte *et al.*, 2013, p. 335).

1.6.3. Factor espacial (Proximidad a Transporte Público Masivo)

Son los elementos que caracterizan el ambiente en el cual ocurre la elección modal y el viaje. Debido a que en el modelo únicamente se incorpora la variable de proximidad a estaciones de transporte público masivo (TPM) esta será la única revisada.²³

Según un estudio de Limtanakool *et al.* para la conurbación de Randstad en Países Bajos, la cercanía a estaciones paradas de transporte público aumenta la elección de éste. Se aclara que es más relevante la cercanía de transporte público al punto de destino que al punto de origen (Limtanakool *et al.*, 2006). De Witte *et al.* señalan que esta variable ha sido poco estudiada y no suele ser considerada como significativa (2013, p. 334).²⁴

Al tocar este punto vale la pena desarrollar el tema de la proximidad, especialmente en cuanto a cómo se puede establecer la cercanía o lejanía entre los orígenes o destinos y las estaciones de TPM. Guerra *et al.* establecen que aunque prácticamente por convención se utilizan radios de media milla (804.67 metros) alrededor de las estaciones de TPM para

²³ Transporte masivo: “este se define como los sistemas de transporte de gran escala diseñados para llevar muchos pasajeros. Esto incluye servicios de tren ligero, metro o tren o servicios de autobuses de tránsito rápido (BRT)” (ITDP, p. 74). En la ZMCM los transportes de este tipo incluyen metro, metrobús, mexibús, tren ligero y tren suburbano. Debido a que el transporte masivo es público por definición el concepto que se utiliza en este trabajo es transporte público masivo (TPM).

²⁴ Aunque en su artículo, De Witte *et al.* nombran a la variable como “proximidad a infraestructura y servicios”, al desarrollarla se circunscriben a hablar de la proximidad al transporte público y a vialidades para el automóvil.

establecer las áreas de atracción de pasajeros, bajo el supuesto de que los puntos ubicados dentro del círculo que se forma están a una distancia que puede caminarsse en lapsos de 10 minutos o menos dada una velocidad de caminata de 3 millas por hora (4.82 kilómetros por hora), no existe evidencia empírica de que se deba utilizar ese radio para establecer áreas de atracción de pasajeros (Guerra *et al.*, 2011, p.2).

Para llenar ese vacío, los autores realizaron una investigación en la que identificaron que los cambios en la longitud del radio utilizado para establecer áreas de atracción de pasajeros no tienen tanta influencia en los poderes predictivos de los modelos de demanda. No obstante, señalan que un radio de media milla se ajusta mejor para el caso de los hogares, mientras un radio de un cuarto de milla (402.34 metros) es más adecuado para modelar la demanda respecto a puntos de trabajo (Guerra *et al.*, 2011, p.12).

1.6.4. Factores sociopsicológicos

Como se mencionó, son los factores de carácter subjetivo que determinan cómo el individuo se comporta ante las opciones creadas por los otros tipos de determinantes (De Witte *et al.*, 2013, p. 337). Cabe aclarar que, aunque este tipo de factores no se incluye en la investigación empírica del presente trabajo debido a la naturaleza cualitativa de los datos, se ha optado por mencionarlos ya que son un componente fundamental del modelo de De Witte *et al.* Asimismo, cabe recordar que son los factores sociopsicológicos los que tratan de hacer operacional el elemento de apropiación del concepto de motilidad.

a) Experiencias

Las experiencias positivas o negativas que el individuo haya tenido en algún modo de transporte influyen en su elección modal actual (De Witte *et al.*, 2013). Si el individuo ha tenido experiencias positivas en algún modo, es probable que éste continúe eligiéndolo. En contraste, si la experiencia es negativa, esto ocasionará reticencia a utilizar el modo de transporte, y en caso de que el individuo tenga alternativas, podría optar por restringir su uso.

También hay autores que establecen la importancia de la socialización de la movilidad durante la niñez, argumentando que la omnipresencia del automóvil en esta etapa aumenta el

valor que estos le darán al crecer, lo que a su vez causará que se tengan opiniones negativas de otros modos de transporte (Kalwitzki en Flamm y Kaufmann, 2006, p. 177).²⁵

b) Familiaridad

La familiaridad hace referencia al conocimiento que los usuarios tienen respecto a los modos a su disposición, lo que facilita su uso. Una mayor familiaridad con la totalidad del sistema de transporte reduce las barreras para el uso de un modo de transporte alternativo respecto al que se utiliza cotidianamente. La familiaridad está vinculada con las habilidades necesarias para el uso del modo de transporte (De Witte *et al.*, 2013, p. 337).

c) Estilo de vida

El concepto “estilo de vida” da lugar a una discusión teórica interesante. Van Acker *et al.* señalan que, a pesar de la frecuente utilización de este concepto, su elaboración no ha sido teórica, sino práctica, principalmente desde el campo de la mercadotecnia. No obstante, los autores aclaran que Max Weber, Pierre Bourdieu y Harry Ganzeboom realizaron algunas aportaciones teóricas al respecto. El primero concluyó que la conducta no puede ser explicada exclusivamente por la clase social, agregando el concepto de estatus, para hacer referencia a los grupos de personas que comparten un prestigio y tienen un estilo de vida similar (entendido como un patrón observable de conductas). Posteriormente, Bourdieu consideró al estilo de vida como un patrón de conductas que indican la posición social del individuo. Esta posición social está dada en función de la cantidad y composición del capital del individuo, el cual puede ser económico, social (relaciones y contactos) o cultural (educación, conocimiento o habilidades). Finalmente, Ganzeboom señala que la gente representa y clarifica su posición social mediante patrones de conducta, determinados por un estilo de vida que se manifiesta por medio de preferencias. Estas preferencias se ponderan con las oportunidades disponibles y las restricciones, y así se da origen a la conducta observada (Van Acker *et al.*, 2010).

²⁵ Con “socialización de la movilidad” se hace referencia al proceso de aprendizaje que involucra al comportamiento de movilidad de la gente. Los individuos adquieren representaciones, actitudes y hábitos respecto a los diversos modos de transporte en su niñez, ya sea a través de la interacción con los demás o de su propia experiencia (Limbourg *et al.* en Flamm y Kaufmann, 2006, p. 186).

Debido a los vínculos entre el estilo de vida, los diversos tipos de capital y la posición social que los autores revisados refieren, puede argüirse que éste es el determinante sociopsicológico que tiene una relación más estrecha con los determinantes sociodemográficos y espaciales.

d) Hábitos

La fuerza de los hábitos de transporte provoca que los usuarios realicen un esfuerzo cognitivo menor al momento de evaluar diversas alternativas de transporte. Así los usuarios que tienen un fuerte hábito de utilizar un modo de transporte en particular sólo tomarán en cuenta una fracción de la información disponible (De Witte *et al*, 2013, p. 337). Esto favorece que continúen eligiendo el modo que acostumbran utilizar cotidianamente. En el mismo sentido, Van Acker *et al.* consideran que la influencia que los hábitos ejercen sobre la elección del modo de transporte no es razonada por el individuo (Van Acker *et al.*, 2010).

Asimismo, se ha observado que sólo cambios importantes en la vida diaria (mudanzas, cambio de la ubicación del trabajo, nacimiento de un hijo, entre otros), o la decadencia significativa de un modo utilizado (por ejemplo, dificultad para encontrar lugar de estacionamiento tras la puesta en práctica de políticas de gestión de la demanda) son capaces de hacer que los individuos cuestionen sus hábitos. En contraste, la mejora de un modo de transporte no es suficiente para hacerlo (Flamm y Kaufmann, 2006, p. 181).

Kaufmann identifica que la racionalidad de los hábitos es una de las cuatro lógicas que explican por qué la participación modal del automóvil aumenta, sosteniendo que de ser ésta la lógica que guía al individuo, de alguna manera la elección modal deja de existir pues los demás modos no son considerados como alternativas reales (Kaufmann, 2000, p. 85).²⁶

e) Percepciones

Las percepciones que el individuo tiene respecto a los modos de transporte afectan la elección modal pues éstas dan lugar a las preferencias (De Witte *et al*, 2013). Cuando el individuo evalúa un viaje utiliza como criterio atributos como la rapidez, la accesibilidad, la

²⁶ Las otras tres lógicas que Kaufmann menciona como impulsoras de la participación del automóvil privado en el reparto modal son la racionalidad económica (relacionada con la lógica utilitarista del enfoque racionalista de la elección modal), la racionalidad axiológica (que remite a los valores y creencias del individuo) y la racionalidad perceptiva (se explica en el texto en el apartado 1.5.4.5.) (Kaufmann, 2000, 80-81 pp.).

independencia, el costo, la seguridad, la confiabilidad, la comodidad, la calidad del servicio y los efectos en el medio ambiente (en términos de eficiencia energética, emisiones contaminantes y ruido).²⁷

Un modo confiable es aquél que funciona correctamente y en el que se puede confiar para que transporte a los pasajeros al destino correcto de manera puntual para la realización de sus actividades cotidianas. En cuanto a la seguridad, las entrevistas realizadas en el estudio permitieron observar que la seguridad percibida no está en función de la probabilidad de tener un accidente establecida estadísticamente, sino de la importancia que el individuo le da a la toma de riesgos con base en su sistema de valores personales (Flamm y Kaufmann, 2006, p. 179).

Kaufmann también identifica a la racionalidad perceptiva como una de las cuatro lógicas que explican el aumento de la participación del automóvil privado en el reparto modal. Para ello utiliza el concepto de disonancia cognitiva, que se define como “el estado de tensión que un individuo experimenta cuando percibe una inconsistencia entre su actitud y su conducta respecto a un objeto o una situación”. Cuando las inconsistencias superan a las consistencias, la disonancia cognitiva ocasiona que el individuo ponga en práctica estrategias para eliminar la tensión, como por ejemplo un cambio de actitud respecto al objeto o situación (Fröhlich en Flamm y Kaufmann, 2006, p. 187). Cuando se aplica la disonancia cognitiva a la elección modal se supone que las representaciones cognitivas de los modos de transporte se adaptan a las conductas de los individuos, es decir, cuando un individuo utiliza un modo de transporte lo convierte subjetivamente en uno más eficaz y mejor valorado que los otros modos. Así las mejoras en los modos de transporte público no son percibidas por los automovilistas (Kaufmann, 2000, p. 84). La percepción está vinculada a la experiencia y la historia de vida de la persona (Kaufmann, 2000, p. 81).

²⁷ Con base en entrevistas realizadas en las ciudades de Ginebra y Lausana, Flamm y Kaufmann señalan que la confiabilidad y la seguridad del modo de transporte fueron los atributos más relevantes para los entrevistados. (2006, p. 180).

2. La elección modal en la ZMCM

Este capítulo tiene por objetivo describir la situación de la elección modal en la ZMCM. En el primer apartado se presenta la evolución histórica del reparto modal en la zona de estudio. El reparto modal es un indicador en el que se precisa la participación porcentual de cada modo de transporte respecto a la totalidad de tramos de viaje-persona.²⁸ Esta información está fue obtenida de cinco estudios realizados en diferentes cortes de tiempo, a saber, 1972, 1983, 1994, 2007 y 2017. Debido al tema de esta investigación, se ha puesto particular interés al comportamiento de la participación porcentual del automóvil.

En el segundo apartado se presenta la evolución de la flota vehicular en el área de estudio. La información se obtuvo de dos fuentes principales: las estadísticas de vehículos con motor registrados en circulación (VMRC) de INEGI y las cifras de los Inventarios de Emisiones basadas en el programa de verificación y publicadas por el Gobierno de la Ciudad de México. Con base en la estadística de VMRC, se estudia el aumento en el número de automóviles en la ZMCM y se realiza un análisis intrametropolitano de carácter subestatal (demarcaciones territoriales en la Ciudad de México y municipios en el Estado de México e Hidalgo) sobre la Tasa de Crecimiento Medio Anual (TCMA) de la tasa de motorización, a fin de observar en qué zonas del área de estudio ha aumentado más rápido el número de automóviles controlando el crecimiento demográfico. La delimitación temporal de las cifras de VMRC va de 1980 a 2017. Con la información de los Inventarios de Emisiones también se realiza un análisis de la flota vehicular, así como de su distribución porcentual por entidad. Sin embargo, dado el nivel de agregación de los datos, no es posible realizar un acercamiento de carácter intrametropolitano.

El tercer apartado trata el tema del transporte público masivo (TPM), entendido como la red conformada por el metro, el tren ligero, el metrobús y el tren suburbano. Primero, se presenta una breve revisión histórica del surgimiento del transporte público y la incorporación de diferentes modos hasta la inauguración de la Línea 1 del metro en 1969, año que marca el inicio del funcionamiento del TPM en la Ciudad de México.²⁹

²⁸ “El concepto de *viaje-persona* se refiere al desplazamiento que se realiza entre un origen y un destino conocidos de antemano y con un propósito específico; además, se enfatiza en que el viaje es realizado por una persona y no por un grupo de personas o por un vehículo. (Islas Rivera, 2000, p. 58)

²⁹ Cabe mencionar que el actual territorio de la Ciudad de México se denominó “Distrito Federal” entre 1824 y enero de 2016. De ahí que en el texto sea necesario recurrir en ocasiones a su antigua denominación.

Posteriormente, con el objetivo de observar los cambios de la distribución espacial de la red de TPM en las últimas dos décadas, se presenta la cartografía de las estaciones correspondiente a tres cortes temporales recientes, a saber, 2000, 2010 y 2019.

En el cuarto apartado se realiza un análisis intrametropolitano del uso del automóvil. La intención es identificar en qué zonas de la ZMCM se realiza un mayor porcentaje de viajes en automóvil respecto al total de viajes. Mediante la exposición cartográfica de la información es posible identificar qué áreas registran mayores y menores porcentajes de viajes en automóvil. Para ello se ha utilizado la información de la Encuesta Origen-Destino 2017 (EOD 2017). Finalmente, se realizan algunos comentarios de cierre para este segundo capítulo.

2.1. Reparto modal en la ZMCM

El cúmulo de elecciones de modo de transporte que realizan los habitantes de una urbe se refleja en el reparto modal. Este indicador se refiere a la participación porcentual que tienen los viajes hechos en cada modo de transporte respecto al total de viajes realizados en la ciudad, lo cual permite conocer patrones de las elecciones que realizan los habitantes para satisfacer su demanda de transporte. Asimismo, al observar los cambios en la participación porcentual de los diferentes modos de transporte es posible identificar tendencias de largo plazo, así como observar los efectos de las políticas de movilidad que se llevan a cabo en una urbe.

Para el caso de la ZMCM de la Ciudad de México se cuenta con información correspondiente a 1972, 1983, 1991, 1994, 2007 y 2017. Antes de presentar las cifras y observar los cambios que ha habido en el tiempo, es necesario hacer las siguientes consideraciones. En primer lugar, las cifras presentadas fueron obtenidas utilizando diferentes metodologías de levantamiento y procesamiento de la información, lo cual afecta su comparabilidad. Por ejemplo, mientras la información de 1972 y 1991 se obtuvo mediante estimaciones indirectas basadas en cifras de las empresas de transporte y la cantidad de vehículos en circulación, las cifras que corresponden a los demás años provienen de encuestas origen-destino (Islas Rivera, 2000, p. 62). En segundo lugar, como se observa al revisar los siguientes cuadros, los modos de transporte considerados no han sido los mismos en los diferentes estudios, lo cual implica un obstáculo más a la comparabilidad. En tercer

lugar, debe notarse que las delimitaciones territoriales de los estudios presentados a continuación también varían.

Debido a que la categoría “taxis colectivos” es poco utilizada coloquialmente es pertinente aclarar a qué se refiere. El término tiene orígenes históricos. En 1943, con motivo de una huelga de tranvías (de manera similar a lo ocurrido en el surgimiento de los servicios de autobús que se menciona en el apartado 2.3), la demanda excesiva incentivó a algunos taxistas a dar servicio de manera colectiva (Islas Rivera, 2000, p. 307). Si bien durante varios años el número de rutas, vehículos y pasajeros transportados mediante este modo fue relativamente pequeño (3.3% del reparto modal en 1972), durante la década de los 80 y principios de los 90 su crecimiento fue notable, pues pasó de 8.2% del reparto modal en 1983 a 54% en 1994, consolidándose como el modo de transporte con la mayor participación porcentual en el reparto modal (Islas Rivera, 2000). Aunque el término de “taxi colectivo” evoca a un automóvil, este modo también incluye vehículos tipo combi, minibús y miniván.³⁰ Para los estudios de reparto modal de 2007 y 2017, el término “taxi colectivo” fue sustituido por “colectivo” y “colectivo/micro”, respectivamente.³¹

El cuadro 2.1 presenta la información del reparto modal correspondiente a 1972, a sólo 3 años de la inauguración de la primera línea de metro. El automóvil particular u oficial resultaba el tercer modo de transporte con mayor participación porcentual en el reparto modal con 10.7%, por debajo de los autobuses urbanos (50.3%) y los taxis convencionales o de sitio (10.8%).

Cuadro 2.1. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM en un día típico (1972)

Modo de transporte	Viajes-persona	Porcentaje
Autobuses urbanos	5,576,006	50.3%
Taxis convencionales y de sitio	1,195,158	10.8%
Automóviles particulares y oficiales	1,185,830	10.7%
STC-Metro	1,146,062	10.3%
Trolebuses y tranvías	610,000	5.5%

³⁰ Actualmente los vehículos tipo combi se encuentran en desuso y buena parte han sido sustituidos por minibuses y minivanes.

³¹ Islas Rivera apunta que escogió la denominación “taxis colectivos” debido a que resulta más general y adecuada que los términos utilizados tales como “peseros”, “combis” o “microbuses” (2000, p. 84).

Taxis colectivos	370,832	3.3%
Autobuses suburbanos	306,542	2.8%
Autobuses escolares y particulares	232,960	2.1%
Autobuses foráneos	156,467	1.4%
Otros	305,418	2.8%
Total	11,085,275	100%

Fuente: Islas Rivera (2000)

Las cifras de reparto modal correspondientes a 1983 se presentan en el Cuadro 2.2. Este estudio fue llevado a cabo por la Coordinación General de Transporte del Departamento del Distrito Federal. Se consideraron para su realización las 16 delegaciones capitalinas, así como a “89 localidades mayores de mil habitantes y/o las cabeceras de 27 municipios del Estado de México” (INEGI, 2007, p. 7). Entre los cambios más relevantes respecto a la información de 1972 está el ascenso del metro como el principal modo de transporte y la caída en alrededor de 50% de la participación de los autobuses urbanos. En cuanto a los automóviles particulares, su participación aumentó alrededor de 9%, aunque cabe mencionar que en el estudio anterior, la categoría también consideraba a los autos oficiales, por lo cual es probable que el aumento haya sido ligeramente superior. Una vez más el automóvil resultó ser el modo de transporte con la tercera mayor participación del reparto modal.

Cuadro 2.2. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM (1983)

Modo de transporte	Viajes-persona	Porcentaje
STC-Metro	6,515,716	29.08%
Autobuses urbanos	5,821,759	25.98%
Automóviles particulares	4,267,815	19.04%
Autobuses suburbanos	3,147,929	14.04%
Taxis colectivos	1,838,715	8.20%
Trolebús	280,614	1.25%
Autobús escolar	191,612	0.85%
Taxi libre y de sitio	154,802	0.69%
Bicicleta	90,929	0.41%
Tranvía	59,035	0.26%
Camión	29,158	0.13%
Motocicleta	15,498	0.07%
Total	22,413,582	100%

Fuente: Islas Rivera (2000)

Se ha optado por no incluir la información de 1991 debido a la escasa consistencia de las cifras con aquéllas de la Encuesta Origen-Destino de 1994 (EOD 1994), así como por la proximidad temporal entre ambas.

La EOD 1994 fue realizada por el INEGI y la delimitación espacial del estudio comprendió las 16 delegaciones del DF, así como 28 municipios conurbados del Estado de México. Según la información del reparto modal de la EOD 94 (véase cuadro 2.3), la participación porcentual del automóvil se convirtió en la segunda más alta al registrar 17.4%, no obstante, ésta fue inferior a la registrada en 1983. La mayor participación de los tramos de viaje-persona correspondió a los taxis colectivos con 54% del reparto modal.

Cuadro 2.3. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM (1994)

Modo de transporte	Viajes-persona	Porcentaje
STC-Metro	3,234,000	13.9%
Autobuses urbanos (Ruta 100)	1,566,000	6.8%
Taxis colectivos	12,510,000	54%
Taxis libres y de sitio	568,000	2.4%
Trolebús	131,000	0.6
Automóviles particulares	4,042,000	17.4%
Autobuses suburbanos	802,000	3.5%
Bicicleta	167,000	0.7%
Moto	18,000	0.1%
Otro	148,000	0.6%
Total	23,186,000	100%

Fuente: Islas Rivera (2000)

En 2007 el INEGI, el Gobierno del Distrito Federal (GDF) y el Gobierno del Estado de México (GEM) realizaron una nueva encuesta origen destino (EOD 2007). En esta ocasión, la zona de estudio comprendió las 16 delegaciones del DF, así como 40 municipios mexiquenses (EOD 2007, p. 8). De acuerdo con la EOD 2007, la participación porcentual del automóvil privado aumentó a 20.7% y se mantuvo como la segunda más alta, superada una

vez más por el colectivo. En el cuadro 2.4 se presenta la participación de los diversos modos de transporte en el reparto modal.

Cuadro 2.4. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM (2007)

Modo de transporte	Porcentaje
Colectivo	46.2%
Automóvil	20.7%
Metro	13.6%
Autobús suburbano	7.2%
Taxi	5.9%
Autobús RTP	2.0%
Bicicleta	1.4%
Metrobús	0.8%
Trolebús	0.7%
Tren ligero	0.4%
Motocicleta	0.3%
Otro	0.9%

Fuente: INEGI (2007)

Una década más tarde se llevó a cabo una nueva encuesta origen destino. En esta ocasión, la realización estuvo a cargo del INEGI en colaboración con el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La cobertura geográfica de la EOD 2017 contempló las 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, 59 municipios conurbados del Estado de México y el municipio hidalguense de Tizayuca.

Debido a que en los informes de la EOD 2017 el reparto modal contempla los viajes realizados a pie, se optó por recurrir a la base de datos para excluir estos desplazamientos y elaborar un reparto modal más comparable a la información de los estudios anteriores que ignoran ese tipo de viajes. Una vez más, el automóvil privado fue el segundo modo con la participación porcentual del reparto modal más alta. Ésta aumentó poco menos de 2 puntos porcentuales respecto a las cifras de 2007. Nuevamente el colectivo fue el único modo que superó la participación del automóvil, al registrar 44.1%.

Cuadro 2.5. Reparto modal de transporte de tramos de viajes-persona en la ZMCM (2017)

Modo de transporte	Porcentaje
Colectivo/Micro	44.1%
Automóvil	22.47%
Metro	13.5%
Taxi (sitio, calle u otro)	5.23%
Metrobús o Mexibús	3.24%
Autobús	2.9%
Bicicleta	2.39%
Autobús RTP o M1	1.24%
Motocicleta	1.15%
Mototaxi	0.88%
Taxi (App internet)	0.55%
Transporte escolar	0.52%
Tren suburbano	0.51%
Trolebús	0.4%
Tren ligero	0.32%
Bicitaxi	0.31%
Transporte de personal	0.11%
Mexicable	0.03%
Otro	0.15%

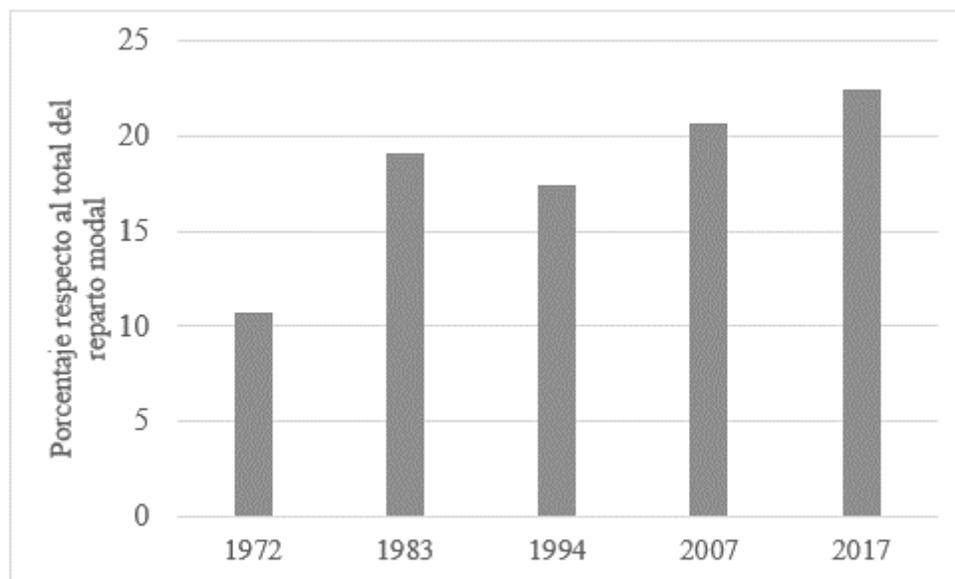
Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2018.c)

En suma, la participación porcentual del automóvil respecto al total del reparto modal tuvo un importante crecimiento entre 1972 y 1983. No obstante el decrecimiento registrado en 1994, la información de las últimas dos EOD establece el retorno de la tendencia al alza. Así, el automóvil se ha consolidado como el modo de transporte con la segunda mayor participación porcentual desde 1994. Al respecto Islas Rivera comenta que aunque los viajes en automóvil no tienen la participación mayoritaria del reparto modal, su número de vehículos es el más importante (Islas Rivera, 2000, p. 63).³²

³² Otras tendencias mencionadas por Islas Rivera son la caída de la participación de los autobuses en el reparto modal, el aumento de la participación de los colectivos y el metro y la participación reducida de la bicicleta. Aunque el autor realizó estos comentarios observando la evolución del reparto hasta 1994, la situación actual es similar a la descrita. Si acaso, debe reconocerse que la participación de las bicicletas, si bien aún es reducida, ha aumentado considerablemente respecto a su misma proporción registrada en 1994.

En la gráfica 2.1. puede observarse que la tendencia creciente del porcentaje en el reparto modal correspondiente al automóvil privado es constante salvo por el registro de 1983. Se han identificado dos situaciones que pudieron haber influido en este pico. En primer lugar, como se advirtió al inicio del presente apartado, las metodologías y delimitaciones territoriales para cada estudio han sido diferentes. Particularmente, debe tenerse en cuenta que mientras el reparto modal de 1972 fue obtenido con base en estimaciones indirectas de las empresas prestadoras de servicios de transporte, en los demás años la información fue recabada mediante encuestas origen-destino. En segundo lugar, Legorreta menciona una disminución del número de automóviles en los años ochenta debido al constante aumento del precio de los automóviles y las autopartes en una coyuntura de estancamiento económico (Legorreta, 1995, 39-41 pp.). Aunque para principios de los noventa el número de autos volvió a crecer, parece que este incremento no logra detener la caída de la participación del automóvil en el reparto modal de 1994.³³

Gráfica 2.1. Evolución de la participación porcentual del automóvil en el reparto modal de la ZMCM



Fuente: elaboración propia con datos de Islas Rivera (2000), INEGI (2007) e INEGI (2018.c)

³³ La gráfica 2.2 del presente trabajo respalda lo señalado por Legorreta pues da cuenta del estancamiento del número de vehículos en la ZMCM y de la ligera caída observada en el territorio del entonces Distrito Federal durante los años ochenta. En dicha figura también se observa en 1994 una importante caída en el número de vehículos respecto al año anterior. Aunque es difícil saber si el efecto de esta caída afectó la información de la EOD1994 es un elemento que no debe soslayarse.

2.2. Flota vehicular y tasa de motorización en la ZMCM

Antes de analizar la información de la flota vehicular en las últimas décadas, se presenta a continuación una breve revisión histórica del automóvil en la ZMCM. En 1896 arriban a México los primeros automóviles. Una década más tarde, el número de autos ascendía a 800, lo que llevó al gobierno a promulgar un primer reglamento de tránsito, en el que se estableció que la velocidad máxima sería de 40 kilómetros por hora en lugares poco transitados y 10 en las calles de mayor circulación. También se les ordenaba a los automovilistas no rebasar a tranvías y anunciarse con trompeta o timbre sonoro al aproximarse a cruces (Espinosa López, 2003, 134-135 pp.).

A fin de analizar el comportamiento de la flota vehicular y la tasa de motorización en la ZMCM, es posible recurrir a dos fuentes de información. En primer lugar, están las estadísticas de VMRC, que tiene datos anuales agregados a nivel estatal y municipal de 1980 hasta el año en curso.³⁴ Este indicador incluye vehículos particulares, vehículos públicos y vehículos oficiales y se calcula sumando las unidades que causaron alta y restando las unidades que causaron baja en un año $x+1$ al total de existencias del año x (véase formato de VMRC en anexo 1 de la presente investigación).³⁵ En segundo lugar, se cuenta con las estadísticas de la flota vehicular de la ZMCM de los inventarios de emisiones que se publican bienalmente desde 1996. Debido a que cada fuente tiene sus fortalezas y debilidades (las cuales se mencionan en los siguientes párrafos) y permiten realizar diferentes tipos de análisis en delimitaciones temporales distintas, se ha optado por incluir ambas.

³⁴ En esta investigación se toman en cuenta los datos hasta 2015 debido a que el último dato de población por municipio o demarcación territorial está en la Encuesta Intercensal de ese año.

³⁵ En la metodología de las estadísticas de VRMC se presentan las siguientes definiciones (INEGI, 2016, 5-6 pp.):

(i) Automóviles: comprende los vehículos de motor destinados principalmente al transporte de personas, que cuentan hasta con siete asientos (incluyendo el del chofer).

(ii) Servicio oficial: es el transporte de pasajeros y/o carga que es utilizado por los organismos gubernamentales para satisfacer sus propios requerimientos y/o atender las necesidades de la población

(iii.1) Servicio público (estatal): es el transporte que prestan las personas físicas y morales al público en general, para el traslado de pasajeros y bienes dentro del territorio nacional, utilizando para ello los caminos y puentes de jurisdicción local. La concesión para la prestación de este tipo de servicio es otorgada por los gobiernos de los estados.

(iii.2) Servicio público (federal): es el transporte que prestan las personas físicas y morales al público en general, para el traslado de pasajeros y bienes dentro del territorio nacional, utilizando para ello los caminos y puentes de jurisdicción federal. La concesión para la prestación de este tipo de servicio es otorgada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

(iv) Servicio particular: es el autotransporte de pasajeros y/o carga por cuenta propia, que proporcionan las personas físicas o morales con unidades de su propiedad.

Antes de presentar el análisis de la información, vale la pena comentar brevemente sobre la tasa de motorización. Este indicador busca medir la presencia del automóvil en un territorio en un tiempo dado. A fin de evitar que el crecimiento demográfico sesgue al indicador, el número de automóviles se divide entre la población total, la cual a su vez se relativiza al dividirla entre mil habitantes. En concreto, la tasa de motorización se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$tmot = \frac{\text{número de vehículos}_{it}}{\left(\frac{\text{población total}_{it}}{1000}\right)}$$

donde:

tmot: tasa de motorización

número de vehículos_{it}: número de vehículos en el territorio i en el año t

población total_{it}: población total en el territorio i en el año t

El primer análisis se realiza con base en la información de las estadísticas de VMRC, elaboradas por INEGI. Entre las fortalezas de estos datos están la posibilidad de hacer un análisis intrametropolitano debido a la desagregación subestatal de la información, así como su disponibilidad para hacer un análisis longitudinal de más de tres décadas (1980-2015).

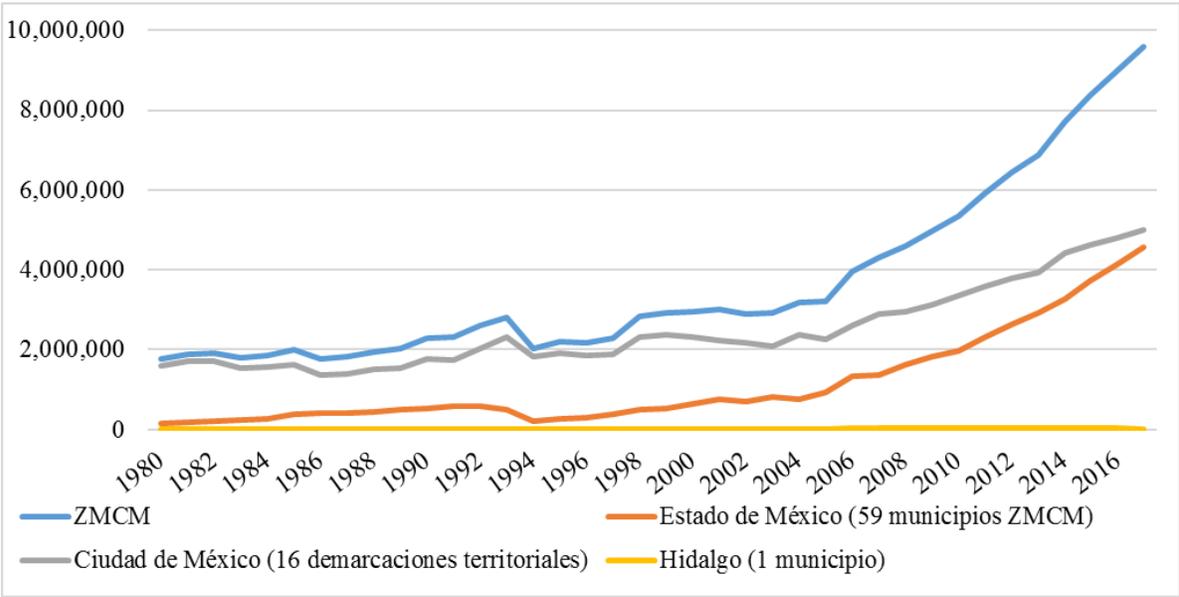
Primero se revisa el número de automóviles en términos absolutos. En la gráfica 2.2 se presenta el comportamiento del total de unidades del VMRC para la ZMCM, la cual se conforma de 59 municipios conurbados del Estado de México, un municipio conurbado de Hidalgo y 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México. Como se puede apreciar, entre 1980 y 2005, el número de automóviles en la ZMCM registrados en circulación ascendió de 1.77 a 3.2 millones. No obstante, durante este periodo se observan tanto etapas de crecimiento, como de decrecimiento, por ejemplo, se observa un periodo de estancamiento durante la segunda mitad de los años ochenta y una caída particularmente pronunciada en 1994.

Esto contrasta con el comportamiento observado a partir de 2005, año en que inició un aumento ininterrumpido y a un ritmo mayor (obsérvese el aumento de la pendiente). La diferencia en las tasas de crecimiento medio anual (TCMA) refleja esta situación. Mientras la TCMA metropolitana para el periodo 1980-2005 fue de 2.4%, la TCMA metropolitana

correspondiente al periodo 2005-2017 fue de 9.5%. Esto da cuenta de un aumento considerable en el ritmo de crecimiento de automóviles registrados.

De acuerdo con las estadísticas de VMRC, el número de automóviles en la ZMCM ha crecido tanto en los últimos años que para 2017 la cantidad de automóviles registrados en toda la zona metropolitana superaba a la de la población que había en la Ciudad de México en 2015.

Gráfica 2.2. Evolución de los vehículos registrados en la ZMCM 1980-2017

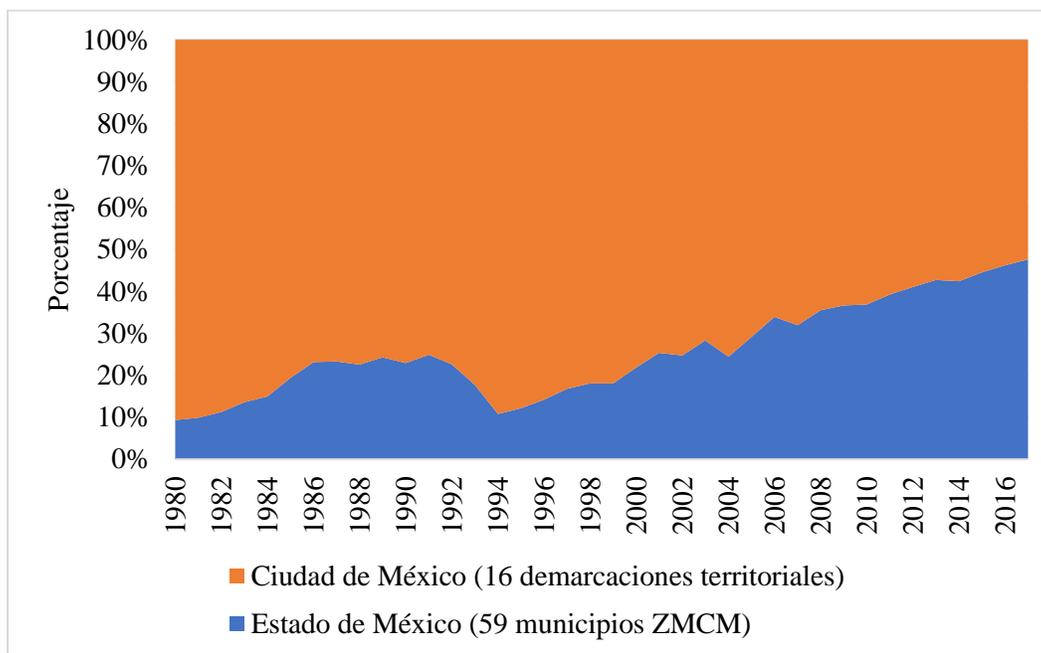


Nota: se ignoran los autos registrados en el rubro “otros estados”
Fuente: SIMBAD de INEGI

Otra característica observable es el cambio en el tiempo de las participaciones de cada entidad que conforma la ZMCM. A fin de dar mayor claridad al respecto, se presenta la gráfica 2.3. Como se puede observar, en 1980 los automóviles registrados en la Ciudad de México representaban alrededor de 90% del total de la ZMCM. De 1980 a 2000, la participación de la Ciudad de México no fue inferior a 70%, si bien hubo un incremento en la participación mexiquense entre 1984 y 1993. En contraste, de 2000 a 2017, la participación de automóviles registrados en los municipios conurbados comenzó a ascender hasta alcanzar un 48% del total de la ZMCM. De continuar esta tendencia, la participación del Estado de México superará a la de la Ciudad de México en pocos años.

Si bien para el cálculo de los porcentajes se incluyó la información para el municipio hidalguense de Tizayuca, se optó por no representarlo en la gráfica 2.3 debido a que su participación no supera el 0.7% en ningún año. Dada a la escala del eje y, gráficamente la línea coincidiría con el 0 durante todo el periodo analizado.

Gráfico 2.3. Participación porcentual por entidad de los vehículos registrados en la ZMCM (1980-2017)



Fuente: SIMBAD de INEGI

Cabe aclarar que no se tienen datos de los 59 municipios del Estado de México para todos los años del periodo 1980-2017. En el cuadro 2.6 es posible observar que durante los primeros doce años sólo hay datos de 21 municipios mexiquenses de la ZMCM. Para 1997 la cifra llegó a la totalidad de municipios mexiquenses de la ZMCM que existían en ese año. Finalmente, en 2007 se presentan datos por primera vez para el municipio de Tonanitla, el cual fue fundado en 2003.³⁶ En lo que respecta a las 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México y el municipio Hidalguense de Tizayuca, sí se cuenta con la información desde 1980.

³⁶ Otro municipio relativamente joven es el de Valle de Chalco Solidaridad, el cual se fundó en 1994.

Cuadro 2.6. Número de municipios del Estado de México con información de VMRC

Periodos	Número de municipios con datos en estadísticas de VMRC
1980-1992	21
1993	34
1994	29
1995-1996	30
1997-2006	58
2007-2017	59

Fuente: SIMBAD de INEGI

A continuación se analiza la cartografía realizada con base en la tasa de motorización. Debido a que el objetivo es observar espacialmente el ritmo del crecimiento de la tasa de motorización en los municipios y demarcaciones territoriales de la ZMCM se ha optado por cartografiar la TCMA de dicho indicador. Debido a la falta de datos para buena parte de los municipios mexiquenses (véase cuadro 2.6) durante los primeros años, se optó por separar el periodo de observación en dos subperiodos. El primero abarca de 1980 a 2000 con 38 polígonos observados (16 demarcaciones territoriales, 21 municipios mexiquenses y 1 municipio hidalguense) y el segundo va de 2000 a 2015 y se observan 75 polígonos (16 demarcaciones territoriales, 58 municipios mexiquenses y 1 municipio hidalguense). Se dejó fuera del análisis al municipio de Tonanitla debido que solamente presenta información a partir de 2007.

En los mapas 2.1 y 2.2 se clasificó la TCMA de la tasa de motorización de los polígonos observados en cinco clases, a saber, TCMA baja (inferior a 2.5%), TCMA media baja (de 2.5 a 5%), TCMA media (de 5 a 7.5%), TCMA media alta (de 7.5 a 10%) y TCMA alta (mayor a 10%). Aunque las distribuciones de las frecuencias son diferentes en los dos periodos, el mantener el mismo ancho de clase en los dos mapas permite realizar una mejor comparación de los cambios ocurridos con el paso del tiempo. A fin de dimensionar adecuadamente las implicaciones de la TCMA en el anexo 2 del presente trabajo se incluye un cuadro que señala cuántos años tarda en duplicarse la cantidad observada en el tiempo inicial dada una TCMA x .

En el mapa 2.1, el rango de la TMCA de la tasa de motorización de los entes subestatales de la ZMCM va de -3.8% correspondiente al municipio mexiquense de Chimalhuacán a 11.8% que se registró en Tultitlán. Se observa que ocho de los nueve

municipios con TCMA media alta o alta (Cuautitlán Izcalli, Tecámac, Tepotzotlán, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza, Coacalco de Berriozábal y Tultitlán) están localizados en la zona norte de la ZMCM, y salvo por el caso de Tecámac, siete de estos municipios son contiguos. El municipio de Huixquilucan, ubicado al poniente de la Ciudad de México, también presenta una TCMA media alta.

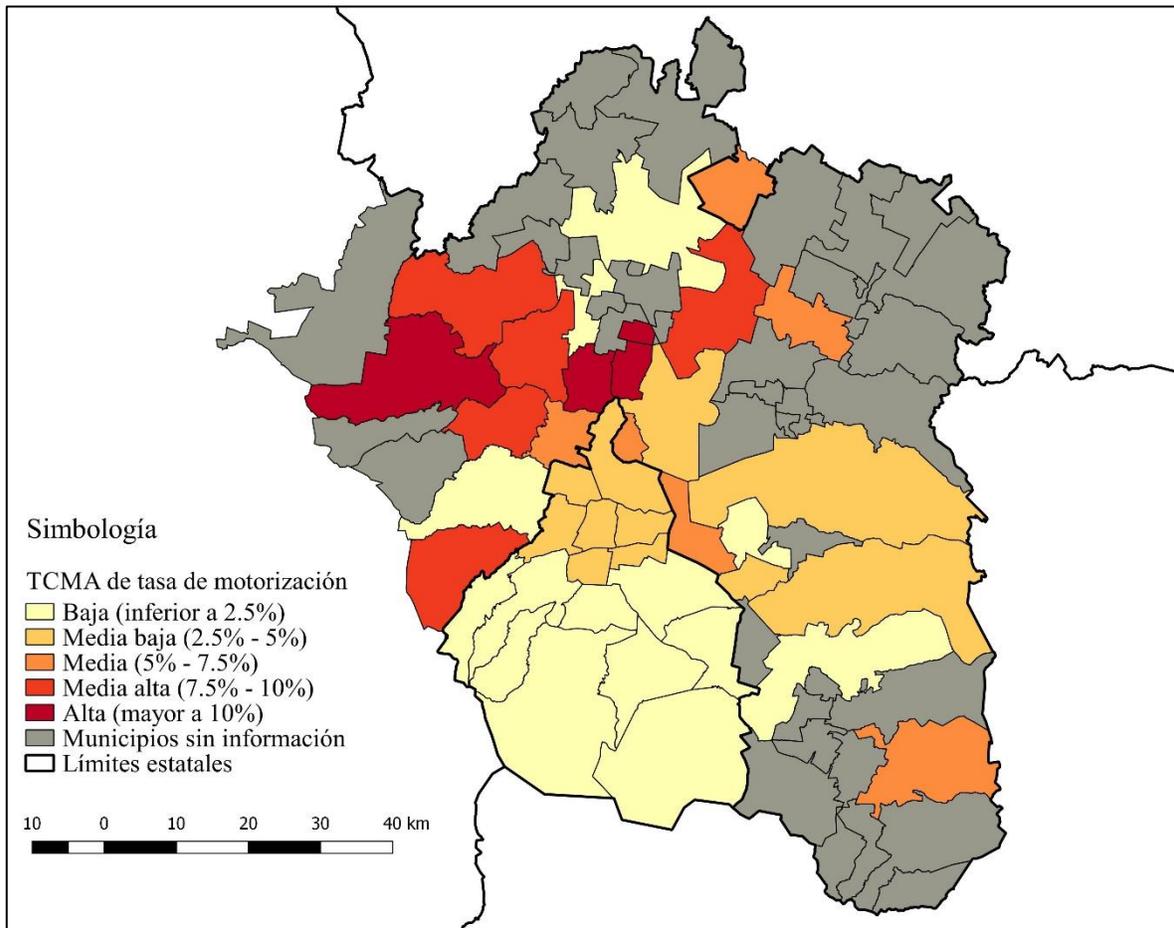
Únicamente Tlalnepantla de Baz, Nezahualcóyotl, Amecameca y Teotihuacán tienen TCMA medias durante este periodo. Aunque los primeros dos municipios son cercanos (Tlalnepantla en la frontera norte de la Ciudad de México y Nezahualcóyotl al oriente), no existe contigüidad entre los cuatro municipios clasificados en esta categoría.

En contraste, los polígonos con una TCMA media baja presentan una mayor concentración espacial. A esta categoría pertenecen las siete demarcaciones territoriales más septentrionales de la Ciudad de México y cuatro municipios contiguos ubicados al oriente y nororiente de la capital (Ixtapaluca, La Paz, Texcoco y Ecatepec de Morelos).

14 polígonos tienen una TCMA baja. Al sur de la ZMCM están las ocho demarcaciones territoriales más meridionales, al oriente los municipios de Chalco y Chimalhuacán, Naucalpan de Juárez al poniente y al norte Cuautitlán y Zumpango. Cabe resaltar que las tasas de motorización de Chimalhuacán y Cuautitlán tienen TCMA negativas, es decir, en el 2000 se observó una menor tasa de motorización que la que ambos municipios tenían en 1980. Cabe agregar que la baja TCMA de la tasa de motorización de Chalco (0.16%) está sesgada debido a la división de su territorio que se llevó a cabo para dar origen al municipio de Valle de Chalco en 1994.³⁷

³⁷ Chalco pasó de tener 9536 automóviles registrados en 1993 a 3540 en 1994.

Mapa 2.1. TCMA de la tasa de motorización por municipio y demarcación territorial en la ZMCM (1980-2000)



Fuente: elaboración propia con información de SIMBAD

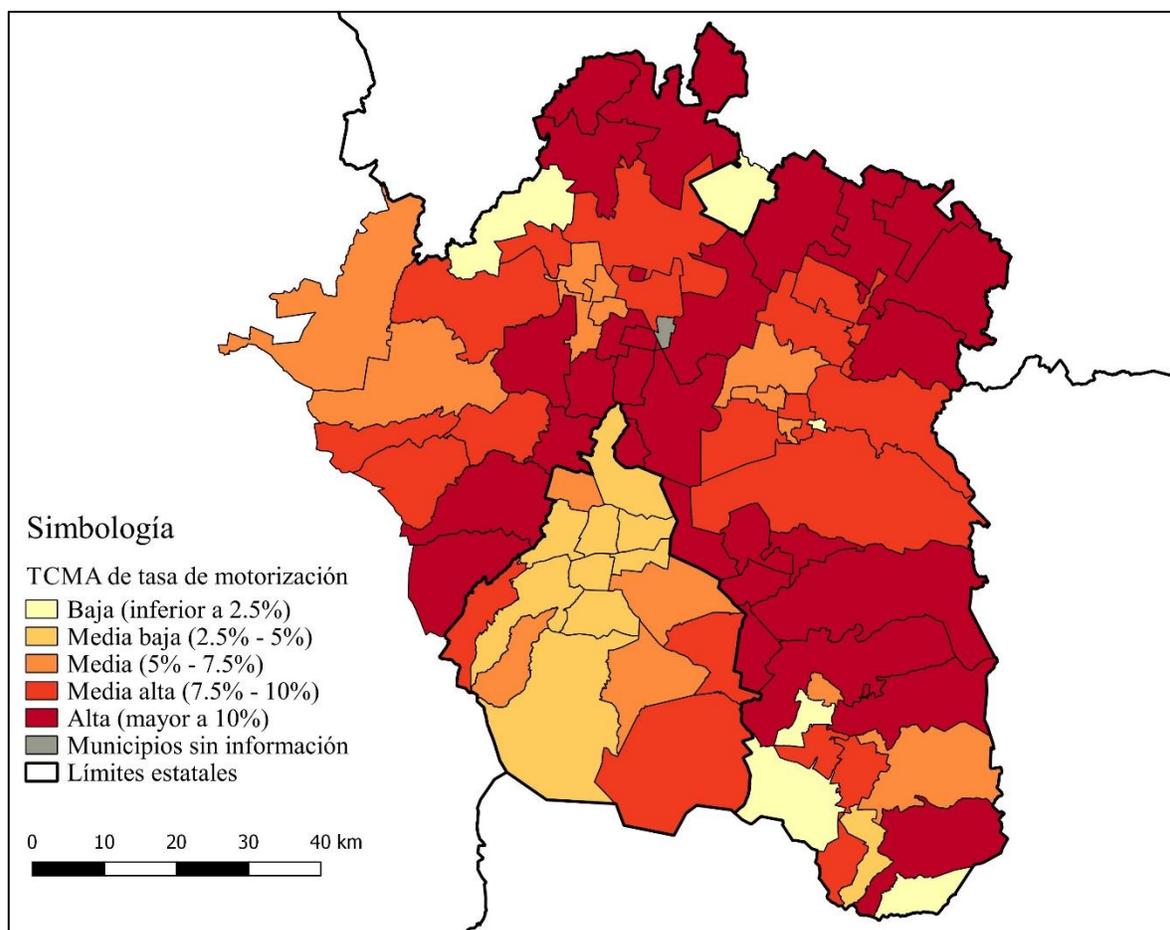
En el mapa 2.2. se presentan las TCMA de la tasa de motorización a nivel intrametropolitano durante el periodo 2000-2015. Como se mencionó, el ancho de clase es el mismo del mapa correspondiente al periodo 1980-2000. El municipio de Ecatezingo, ubicado en la periferia suroriental de la ZMCM, fue el que registró la menor TCMA (-6.22%), mientras que Valle de Chalco Solidaridad fue el que registró la mayor (27.6%).

La diferencia más notable respecto al mapa 2.1 es la alta cantidad de polígonos cuya TCMA está clasificada como alta (26 polígonos) y media alta (19 polígonos). Todos los polígonos con TCMA alta se ubican en el Estado de México mientras que sólo tres de los de TCMA media alta están en la Ciudad de México. Los 14 polígonos con TCMA media están dispersos por el territorio de la ZMCM.

Nueve de los diez polígonos de TCMA media baja están localizados en la Ciudad de México. El único municipio mexiquense que pertenece a esta categoría es Ozumba. Finalmente, sólo seis municipios registran una TCMA baja, a saber, Tizayuca en Hidalgo, Papalotla al nororiente, Huehuetoca en la periferia norponiente y Juchitepec, Temamatla y Ecatingo al suroriente de la ZMCM. Cabe mencionar que, salvo Tizayuca, los municipios de esta categoría tienen una TCMA negativa.

En suma, al comparar los dos mapas se observa que en el del periodo 2000-2015 hay una mayor cantidad de polígonos que tienen TCMA elevadas, los cuales se localizan primordialmente en el Estado de México. Esta información es consistente con el crecimiento que ha tenido la flota vehicular en esa entidad según las estadísticas de VMRC.

Mapa 2.2. TCMA de la tasa de motorización por municipio y demarcación territorial en la ZMCM (2000-2015)



Fuente: elaboración propia con datos de SIMBAD de INEGI

De acuerdo con un documento del Instituto de Investigaciones Parlamentarias de la Asamblea Legislativa del Distrito Federal (ALDF) el hecho de que los automóviles estén registrados “no significa que estos se encuentren en circulación ni en el DF ni en la Zona Metropolitana, o incluso que todos ellos existan” (Instituto de Investigaciones Parlamentarias, s/f, 73-74 pp.). Por ello, propone recurrir a los datos del programa de verificación vehicular para tener información más fidedigna. Esta información se encuentra en los inventarios de emisiones de la ZMCM que se publican de manera bienal. Otra ventaja es que su información está desagregada por tipo de vehículo, por lo cual es posible disociar a los automóviles particulares de los taxis.³⁸

En contraste, sus desventajas respecto a las estadísticas de VMRC, se identifica su cobertura temporal más reducida (1994-2016) y de carácter bienal, la susceptibilidad a sesgos ocasionados por las diferencias en gravámenes al automóvil (tenencia) en las dos entidades, la exclusión del municipio hidalguense de Tizayuca (salvo en el inventario de emisiones de 2016) y la agregación de datos a nivel metropolitano y por entidad, lo que imposibilita un análisis de carácter intrametropolitano. Una desventaja más es la poca claridad que existe sobre la cobertura territorial de la información recabada. Asimismo, no se tienen datos para 1996 y los datos correspondientes a 1994 y 2010 sólo están disponibles a nivel metropolitano, es decir, no están desagregados por entidad.³⁹

En la gráfica 2.4 se observa el aumento prácticamente ininterrumpido del número de automóviles privados en la ZMCM, pues sólo se han observado decrecimientos en el año 2000 y el 2012. En lo que respecta a las tendencias por entidad, en la Ciudad de México se observa un crecimiento de 1998 a 2008, con un importante decrecimiento entre 2008 y 2016. De acuerdo con esta información, en la capital del país en 2016 había un número de automóviles particulares similar al del año 2000. Esto sugiere que el número de automóviles en la capital alcanzó su pico en 2008 y actualmente se tiende a la “desmotorización”.

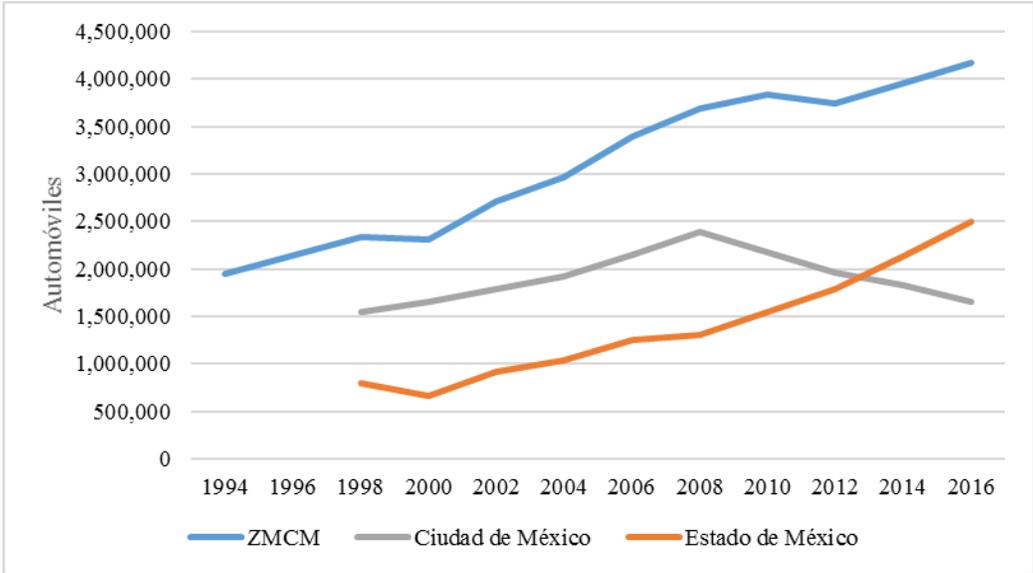
³⁸ Los tipos de vehículos que se incluyen en los inventarios de emisiones son: (i) automóvil particular, vehículos utilitarios deportivos (SUV, por su acrónimo en inglés), (iii) taxis, (iv) combis-vagonetas, (v) microbuses, (vi) vehículos de carga de hasta 3.8 toneladas, (vii) camionetas tipo pick up, (viii) tractocamiones, (ix) autobuses, (x) vehículos de carga mayores a 3.8 toneladas, (xi) motociletas, (xii) mexibuses y metrobuses.

³⁹ Aunque no fue posible localizar el inventario de emisiones de 1994, el correspondiente a 1996 especifica que la flota vehicular presentada es de 1994. Por desgracia, se omite la información correspondiente a 1996. En cuanto a la flota vehicular de 1994 y 2010, los datos sólo se presentan a nivel metropolitano.

En lo que respecta a los municipios conurbados del Estado de México, se observa una tendencia al alza prácticamente ininterrumpida. El único periodo de decrecimiento ocurrió en el año 2000. Para 2014 el número de automóviles particulares en los municipios conurbados del Estado de México había superado al de la Ciudad de México, algo que contrasta con la interpretación realizada con base en la estadística de VMRC.

Aunque estas cifras podrían sugerir el éxito de las políticas de movilidad en la Ciudad de México dada la reducción en el número de automóviles, debe tomarse en cuenta la distorsión provocada por los automovilistas que residen en la capital y que registran y verifican sus vehículos en el Estado de México y en Morelos debido a la menor carga fiscal que representa la tenencia en esas entidades.

Gráfica 2.4. Flota vehicular en la ZMCM según Inventarios de Emisiones



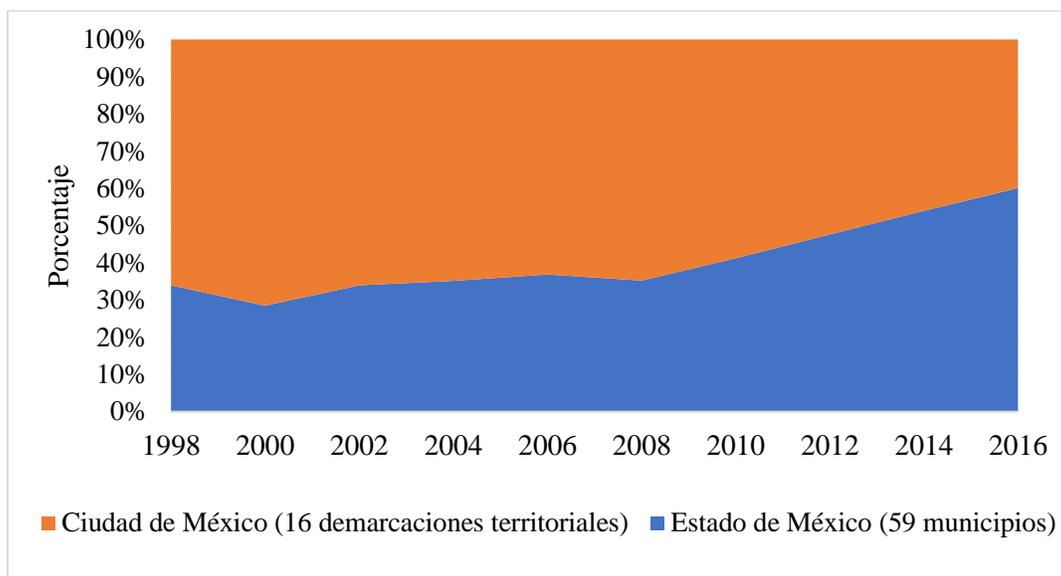
Nota: ante la falta de desagregación por entidad de 2010 y la carencia absoluta de datos se realizó una imputación respetando la tendencia observada en años previos y posteriores. A partir de 2010, se tomó en cuenta la suma de autos particulares y vehículos tipo SUV, debido a que en años anteriores ambos tipos se consideraban en la misma categoría (véase Inventario 2012). No se incluyó una línea para el municipio hidalguense de Tizayuca debido a que solamente hay información disponible en el inventario de 2016.

Fuente: Inventarios de emisiones

En la gráfica 2.5 se observa con mayor claridad la evolución en la participación por entidad en el total metropolitano. A partir del 2000, la participación de la Ciudad de México comienza a reducirse. Si bien hubo un ligero repunte en el 2008 en la capital, para el 2014 la participación del Estado de México la superaba por aproximadamente 8 puntos porcentuales.

La participación porcentual de los municipios conurbados del Estado de México continuó aumentando hasta llegar a representar 60% del total metropolitano.

Gráfica 2.5. Participación porcentual por entidad del número de automóviles particulares según los inventarios de emisiones (1998-2016)



Nota: debido a la falta de información por entidad correspondiente al 2010 se realizó una imputación de datos respetando la tendencia observada en los años previos y posteriores.

Nota: no se incluyó una línea para el municipio hidalguense de Tizayuca debido a que solamente hay información disponible en el inventario de emisiones de 2016.

Fuente: Inventarios de Emisiones

A manera de balance general se rescatan las similitudes y diferencias entre las conclusiones obtenidas a partir de la información de las estadísticas de VMRC y los inventarios de emisiones. Entre los puntos en común se tiene el aumento de la participación porcentual de los municipios mexiquenses en el total de automóviles en la ZMCM, en detrimento de la participación de la Ciudad de México. Asimismo, ambas fuentes de información señalan que en términos agregados, el número de automóviles en la ZMCM ha aumentado considerablemente.

En cuanto a las diferencias, la más notoria es la divergencia entre la tendencia observada en la Ciudad de México. Mientras las estadísticas de VMRC apuntan al crecimiento sostenido de automóviles en la Ciudad de México, la información de los inventarios de emisiones señala que desde 2008 el número de automóviles no ha hecho más que reducirse.

Como se mencionó, cada fuente de datos sobre la flota vehicular en la ZMCM tiene ciertas debilidades metodológicas, por lo cual es necesario considerar estas cifras tomando en cuenta estas deficiencias. Esta falta de información fidedigna sobre el número de automóviles es un serio obstáculo para la investigación sobre el tema de movilidad, especialmente cuando se tiene por objetivo analizar la evolución de la propiedad de automóviles en el tiempo y el territorio.

2.3. Distribución espacial del transporte público masivo en la ZMCM

Para comenzar vale la pena realizar una breve revisión histórica de la evolución del transporte público en la Ciudad de México.

Fue en 1856 cuando el Congreso Constituyente reunido en Querétaro expidió una ley para otorgar la primera concesión de tranvías de tracción animal. La primera ruta de este modo partía del costado oriente de la Catedral Metropolitana y llegaba hasta la Ermita de Tacubaya.⁴⁰ El servicio inició hasta 1860. Para 1890, las rutas de “tranvía de mulitas”, como se conocía coloquialmente al modo de transporte, se habían multiplicado. La mayor parte pertenecían a la Compañía de Ferrocarriles y Tranvías del DF, constituida en 1885, que era de capital privado (Romero, 1987, p 84). Los tranvías de mulitas darían servicio hasta el 24 de noviembre de 1932 (Romero, 1987, p 108).

Para 1882, la Compañía Limitada de Tranvías Eléctricos, de capital británico, obtuvo la primera concesión para instalar el nuevo modo de transporte. A pesar de que para 1888 ya funcionaba la primera ruta, el tendido férreo no superaba los 2 kilómetros y su uso estaba prácticamente reservado al Presidente del Ayuntamiento. Fue hasta 1900 que se inauguraron dos rutas para el uso de los habitantes. La primera, inaugurada el 15 de enero, tenía por destino Tacubaya.⁴¹ La segunda, cuyo primer viaje fue en febrero, llegaba hasta Villa de

⁴⁰ Cabe mencionar que en 1856, aunque Tacubaya era una de las prefecturas exteriores del Distrito Federal, no tenía continuidad física con el área urbana de la Ciudad de México.

⁴¹ El trayecto de los talleres de Indianilla (en donde actualmente se ubica el Centro Cultural Estación Indianilla, en la Colonia Doctores) a Chapultepec fue de siete minutos, y el de Chapultepec a Tacubaya de seis, es decir, el viaje completo duraba alrededor de 13 minutos. Este trayecto se realizó a una velocidad no mayor a los 10 kilómetros por hora en apego a lo estipulado por el Reglamento de 1896. Los primeros tranvías tenían una capacidad de 24 pasajeros (Romero, 1987, p 89)

Guadalupe (Romero, 1987, p 89).⁴² Para 1910 el tendido férreo de la red de tranvías eléctricos ya ascendía a 254 kilómetros, en los que transitaban 333 carros (Romero, 1987, p. 94).

La huelga de los trabajadores de la Compañía de Tranvías ocurrida en junio de 1917 y la consecuente interrupción del servicio de transporte urbano, motivó a algunos automovilistas a adaptar sus vehículos para poder transportar pasajeros. Así, en un ambiente de informalidad surgieron los primeros servicios de camiones (Romero, 1987, 129-130 pp.).⁴³ Fue hasta 1921 que la Jefatura de Tráfico expidió los primeros permisos formales de rutas de camiones, mediante los cuales establecía el número de estos vehículos que integraría cada línea (Romero, 1987, p. 132).⁴⁴ A diferencia de lo que ocurría con el tranvía, en donde una empresa privada tenía la concesión, los camioneros mantenían la propiedad individual sobre sus unidades y sólo se agrupaban en líneas para explotar en común una ruta (Romero, 1987, p. 134).

Hacia mediados del siglo XX se agregaría un modo más de transporte eléctrico. En 1945, 20 unidades de trolebús fueron compradas a una empresa neoyorquina. Poco después se levantó un circuito experimental en las calles de Villalongín y Sullivan. Fue hasta el 9 de marzo de 1951 que se inauguró el servicio al público general en la línea Tacuba-Calzada de Tlalpan (Carrillo Barradas, 2009, 24-25 pp.).

El elevado ritmo de crecimiento demográfico de la Ciudad de México y el aumento del uso del automóvil privado provocó que para los años 60 se observaran severos problemas de congestión y contaminación.⁴⁵ Un diagnóstico de Ingenieros Civiles Asociados S.A. (ICA) realizado previo a la decisión de la construcción de la primera línea de metro señalaba que el transporte en la Ciudad de México enfrentaba los siguientes problemas (Navarro, 1988, p. 40) (Romero, 1987, 148-149 pp.):

1. Demanda excesiva en consecuencia de la falta de zonificación.

⁴² Para 1900 aún no existía continuidad física de la superficie construida de la Ciudad de México con Tacubaya ni con Villa de Guadalupe-Hidalgo.

⁴³ Romero menciona que en sus primeros años el servicio de camiones carecía de un marco normativo que lo regulara, y que las rutas no eran del todo rígidas, pues a menudo quedaba a discreción del chofer el camino que se recorrería. Asimismo, el autor comenta que los choferes eran familiares de los cobradores y establecían relaciones estrechas con sus pasajeros (Romero, 1987, 129-130 pp.)

⁴⁴ Línea se define como “el agrupamiento espontáneo de permisionarios que realizaban un servicio de autotransporte en una ruta determinada”, mientras ruta se entiende como “el itinerario fijo que acata un vehículo en su servicio habitual” (Romero, 1987, 132-133 pp.)

⁴⁵ Cabe mencionar que para 1965, el número de automóviles privados ascendía 313,055. Cuatro años después, en 1969 (año de la inauguración del metro de la Ciudad de México), su número había aumentado a 514 258 (Espinosa López, 2003, p. 249).

2. Operación de numerosas líneas de autobuses y transportes eléctricos sin ninguna coordinación.
3. Escasa planeación que provocaba que más del 75% de las líneas llegaran al primer cuadro de la ciudad, ocasionando serios congestionamientos.
4. Falta de terminales adecuadas para servicios de transporte urbano, suburbano y foráneo
5. Equipos anticuados o excesivamente usados, de operación lenta, deficiente e incómoda.
6. Falta de trazo adecuado de avenidas y calles importantes que obligaban a hacer recorridos exagerados por falta de continuidad entre las mismas.
7. Velocidad de autobuses y trolebuses en el centro menor a la de los peatones.

En suma, el diagnóstico de ICA concluía que “la alternativa para el transporte masivo de pasajeros no podría ser por la vía superficial y por tanto se propuso la alternativa subterránea” (Navarro, 1988, p. 40). El proyecto de la construcción del Metro enfrentó problemas de índole técnica (dificultad para construir en suelo arcilloso y en una zona de alta sismicidad), financiera (problemas para la amortización de créditos debido a la baja capacidad de pago de usuarios potenciales) y social (oposición de empresarios del centro ante el riesgo de verse afectados en propiedades y negocios) (Navarro, 1988, p. 41).⁴⁶

En octubre de 1966 la Presidencia de la República autorizó la creación del Comité Consultivo de Transporte en el Departamento del Distrito Federal para sugerir medidas que resolvieran los problemas de ese ámbito. Tras la realización de numerosos estudios técnicos, se llegó a la conclusión de que la construcción de un tren subterráneo no sólo era factible, sino también el modo más adecuado para la ciudad (Romero, 1987, p. 150).

Los obstáculos técnicos fueron resueltos por ICA y el financiamiento se obtuvo de préstamos a 15 años aportados por el gobierno francés y algunos bancos privados del mismo origen (865, 5 millones y 14.2 millones de francos, respectivamente) (Navarro, 1988, 41-42 pp.).⁴⁷

⁴⁶ Nótese la correspondencia de estos obstáculos y la tipología de barreras al transporte sostenible de David Banister, presentada en el primer capítulo.

⁴⁷ Navarro apunta que curiosamente, la tasa de interés del préstamo de los bancos franceses (4%) era más favorables que la del préstamo del gobierno francés (7%).

El 29 de abril de 1967 se creó el Sistema de Transporte Colectivo (STC) con el fin de construir, operar y explotar el tren subterráneo. Finalmente, el 5 de septiembre de 1969 se inauguró la Línea 1 del Metro con el tramo Zaragoza-Chapultepec (Romero, 1987, p. 151).⁴⁸ En 2000 sólo existían dos modos de TPM en la ZMCM. Por un lado, el metro tenía 31 años de haber sido fundado y contaba con 11 líneas conformadas por 175 estaciones. Como se puede apreciar en el mapa 2.3, no obstante que la mancha urbana de la zona metropolitana superaba los límites administrativos del entonces Distrito Federal, únicamente dos líneas daban servicio a los municipios conurbados del Estado de México: dos estaciones de la Línea A (Los Reyes y La Paz) y ocho de la Línea B (Nezahualcóyotl, Impulsora, Río de los Remedios, Múzquiz, Ecatepec, Olímpica, Plaza Aragón y Ciudad Azteca). El segundo modo de TPM de la ZMCM que había a inicios del siglo era el tren ligero, el cual fue inaugurado en 1986 y que da servicio al sur de la Ciudad de México.

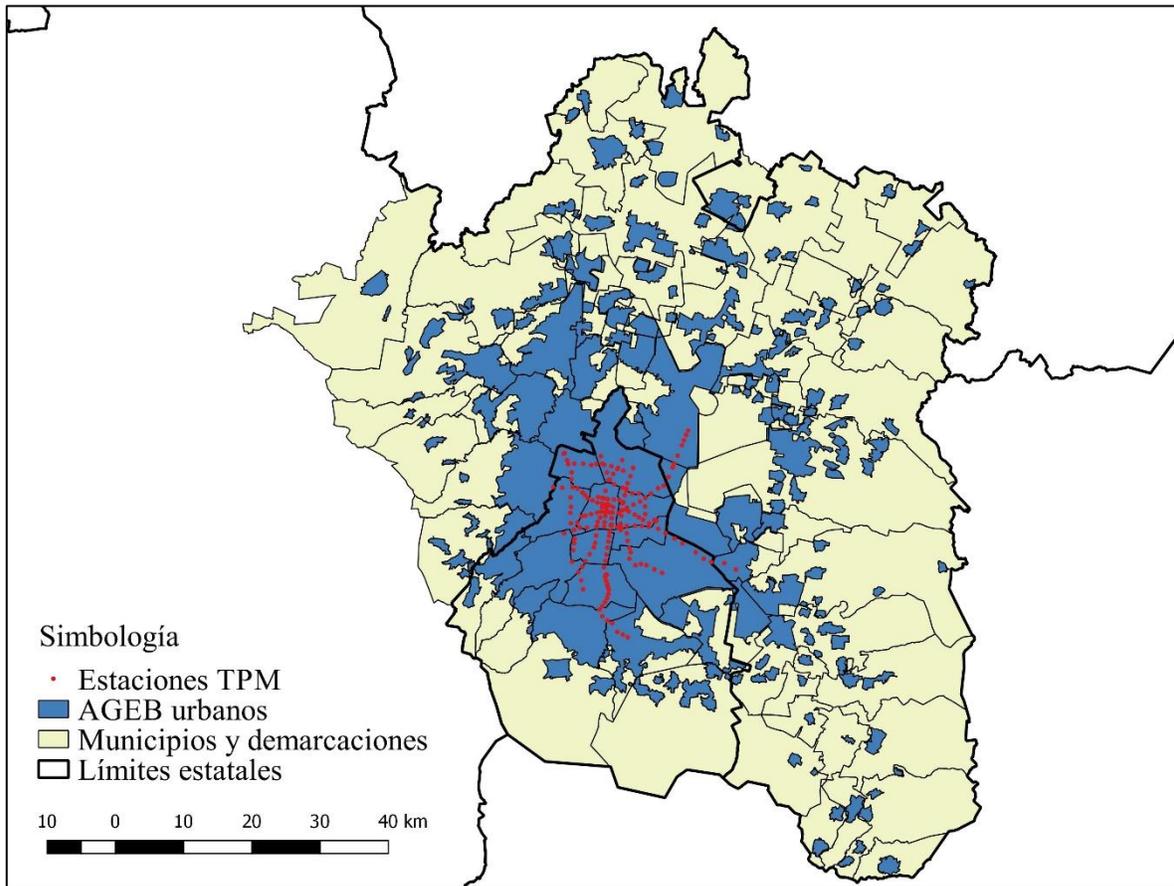
Como se puede observar en el mapa, la zona norte, norponiente y poniente carecía por completo de cobertura de TPM. A pesar del planteamiento de proyectos como el de trenes radiales o el Ecotren, el cual incluso fue licitado y concesionado, así como de las necesidades de movilidad de la población residente de los municipios conurbados, la periferia de la ZMCM estaba escasamente cubierta por la red de TPM.⁴⁹

⁴⁸ Según Navarro, ICA tenía los siguientes principios fundamentales del proyecto (1988, p. 43):

1. Corresponder con las corrientes establecidas de mayores volúmenes de pasajeros y cubrir las zonas de mayor densidad demográfica.
2. Dar servicio a las zonas más congestionadas, eliminando en gran parte los medios de transporte de superficie.
3. Abarcar los centros de actividades principales de la metrópolis.
4. Ahorro de tiempo por medio de líneas lo más rectas posible y con interconexiones múltiples.
5. Preservación del centro histórico de la capital.
6. Trazo de las líneas no podría perjudicar o anular vías de transporte existentes.
7. Evitar el ingreso de los autobuses suburbanos y foráneos al centro.
8. Eliminar las líneas de tranvías que penetraban a la zona céntrica.
9. Irrigar al máximo la zona central con la red de trenes rápidos, de manera que la mayor parte del público de dicha zona tuviera una estación del Metro con recorridos cortos a pie.

⁴⁹ En el Programa de Ordenación de la Zona Metropolitana del Valle de México se hace mención del proyecto de trenes radiales, el cual conectaría a la Ciudad de México con otras ciudades de la corona regional. No obstante se aclara que aún no había proyectos ejecutivos ni programas de ejecución (Comisión Metropolitana de Asentamientos Humanos, 1998, p. 109). La investigación de Rocha Baños documenta el proyecto de Ecotren, el cual iría de Naucalpan al centro de la Ciudad de México (1996).

Mapa 2.3. Distribución espacial de las estaciones de TPM en la ZMCM (2000)



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI

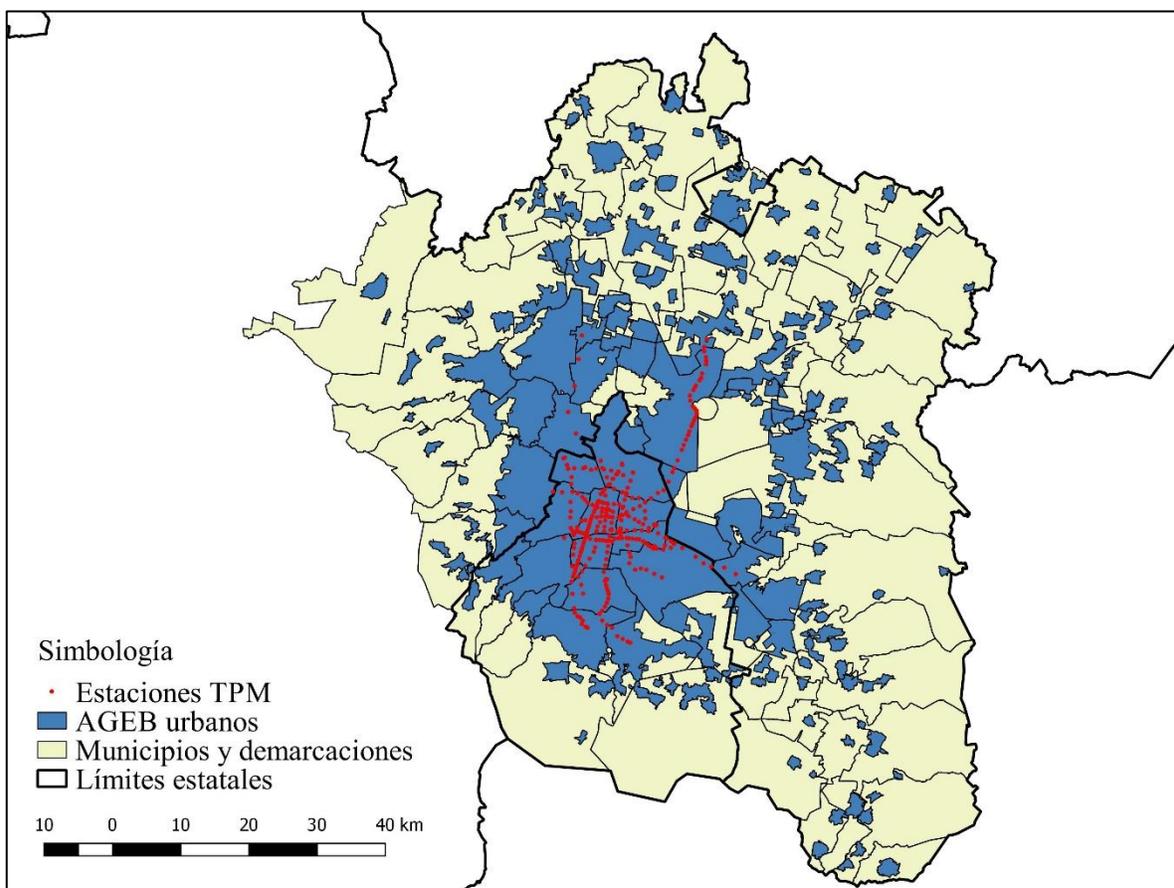
Para 2010 se identifican tres importantes eventos en la red de TPM de la ZMCM. En primer lugar está el arribo de un nuevo modo: el *Bus Rapid Transit* (BRT). En junio de 2005 se inauguró el primer tramo de la Línea 1 del metrobús de la Ciudad de México. En 2009 se inauguraría la Línea 2 del metrobús. La irrupción del BRT no fue exclusiva de la capital del país, pues en octubre de 2010 se inauguró la primera línea del Mexibús, cuyo recorrido se realiza entre las terminales de Ciudad Azteca en Ecatepec y la de Ojo de Agua en el municipio de Tecámac.

En segundo lugar destaca la incorporación de otro modo más de TPM: el tren suburbano. El recorrido de este tren va de la estación de ferrocarril de Buenavista hasta la terminal de Cuautitlán. Dos de sus estaciones están en la Ciudad de México y cinco en el Estado de México, conformando un corredor que comprende las demarcaciones territoriales

de Cuauhtémoc y Azcapotzalco y los municipios mexiquenses de Tlalnepantla, Tultitlán y Cuautitlán.

En tercer lugar está la detención de la expansión de la red del metro. En todas las décadas subsecuentes a la inauguración de la Línea 1, este sistema había sido ampliado. En contraste, para 2010 el número de estaciones permanecía en 175, es decir, no hubo aumento alguno respecto a las existentes en el 2000. En el mapa 2.4 se presenta la expansión de las estaciones de TPM en 2010.

Mapa 2.4. Distribución espacial de las estaciones de TPM en la ZMCM (2010)

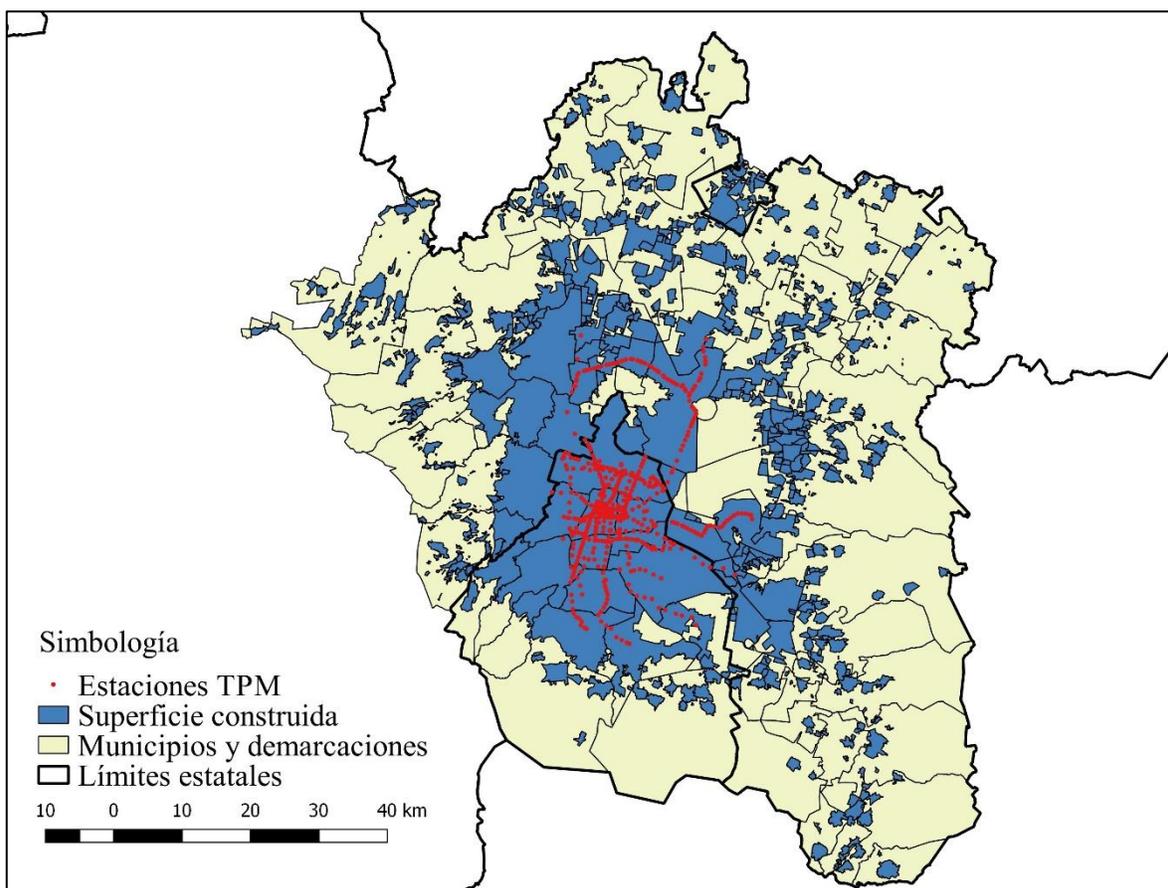


Fuente: elaboración propia con datos de INEGI

Para 2019, se observan dos eventos relevantes respecto al corte de tiempo anterior. Por un lado está la continua expansión de las líneas de BRT. Cinco líneas más de metrobús han sido inauguradas (una de las cuales está en proceso de expansión al momento de realizar esta investigación). Asimismo se han abierto dos líneas más de Mexibús. La Línea 2 va de la

terminal Las Américas en Ecatepec a La Quebrada en Cuautitlán Izcalli y cruza por los municipios de Coacalco de Berriozábal y Tultitlán. Esta línea se distingue por ser la primera de un modo de TPM que cruza a los municipios conurbados del Estado de México en dirección este-oeste. La tercera línea del Mexibús une la estación de Pantitlán, en la cual tienen correspondencia cuatro líneas de metro, con los municipios mexiquenses de Nezahualcóyotl y Chimalhuacán. La expansión de la red de TPM se presenta en el mapa 2.5.

Mapa 2.5. Distribución espacial de las estaciones de TPM en la ZMCM (2019)



Nota: a diferencia de los dos mapas anteriores, en este se utiliza el término “superficie construida” debido a que actualmente el marco geoestadístico incluye zonas rurales amanzanadas.

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI

Si bien ha habido un crecimiento de la red de TPM en los últimos 19 años, se observa un problema fundamental que no ha podido sortearse: no hay un enfoque metropolitano para la expansión de la red de TPM. A pesar de que diariamente se realizan 2.25 millones de viajes desde los municipios conurbados hacia la Ciudad de México y 2.16 millones de la capital

hacia los primeros, únicamente el tren suburbano y la Línea B del metro cruzan desde la periferia hasta la ciudad central de la ZMCM (INEGI.d, 2018, p. 2). Otras líneas con cobertura en más de una entidad tienen una presencia limitada en alguna de ellas, como es el caso de la Línea 2 (sólo una estación en el Estado de México) y la Línea A del metro (únicamente 2 estaciones en el Estado de México) y la Línea 3 del Mexibús (únicamente una estación en la Ciudad de México).

2.4. Distribución espacial del uso del automóvil

El uso del automóvil no se distribuye de manera homogénea en la ZMCM. A fin de identificar qué áreas de la zona metropolitana presentan un mayor uso del automóvil es posible hacer un análisis intrametropolitano con base en los distritos de la EOD 2017. Los distritos son una división territorial creada para la realización de la EOD. La Ciudad de México fue subdividida en 86 distritos, los municipios conurbados del Estado de México en 108 distritos y a Tizayuca sólo le fue asignado uno.

El indicador utilizado para realizar un análisis intrametropolitano del uso del automóvil es el porcentaje de viajes en automóvil respecto al total de viajes por distrito. Para construir el indicador se eliminaron los viajes cuyo tipo de origen era distinto al hogar. Esta decisión se tomó por dos motivos. En primer lugar, se parte del supuesto de que la decisión de usar el automóvil se toma en la vivienda y es una decisión que acompaña la movilidad del individuo a lo largo de su día. Asimismo, el interés principal está en identificar las zonas de la ciudad cuyos residentes tienen una mayor propensión a usar el automóvil privado como modo de transporte. En segundo lugar, el tomar en cuenta los viajes cuyo origen es distinto al hogar ocasionaría una distorsión en el indicador debido a que se considerarían, por ejemplo, viajes de regreso al hogar, que quedarían registrados en el distrito de origen (donde se ubican las oficinas o escuela por ejemplo).

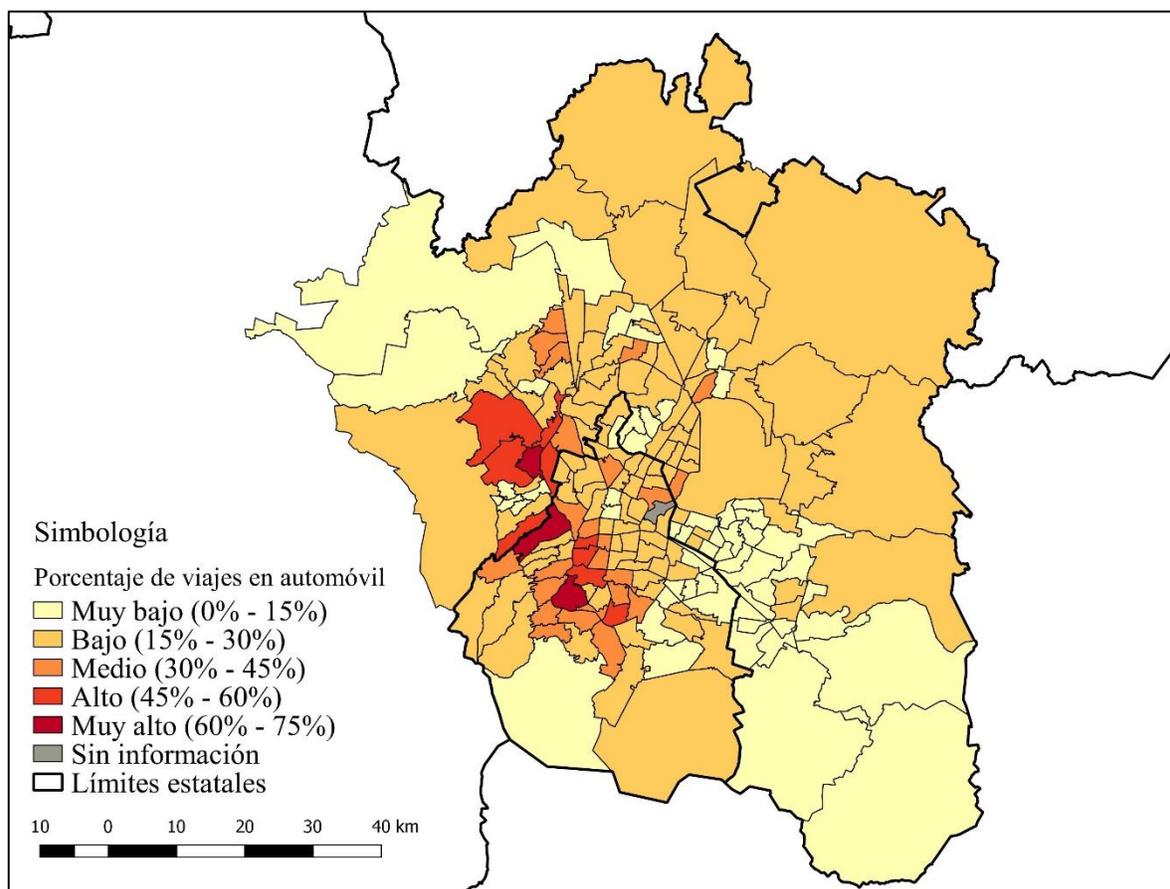
Con base en el mapa 2.6 se identifican tres zonas principales donde existe un porcentaje de uso del automóvil alto o muy alto: (i) al sur de la Ciudad de México (distritos de Ciudad Universitaria, Viveros, Del Valle y Nápoles), (ii) en el límite poniente de la Ciudad de México y el Estado de México (distritos de Las Lomas e Interlomas-Lomas de Tecamachalco) y (iii) en distritos mexiquenses del norponiente de la ZMCM (Ciudad Satélite, Periférico Barrientos-Mundo E, Condados de Atizapán y Lomas Verdes).

En contraste, hay un mayor número de concentraciones de distritos con un porcentaje de uso del automóvil muy bajo, a saber, (i) el límite oriental de la Ciudad de México y el Estado de México (corredor conformado por distritos ubicados en Iztapalapa, Tláhuac, Chalco, Valle de Chalco, La Paz, Chimalhuacán y Chicoloapan) (ii) la periferia exterior al suroriente de la ZMCM (distritos San Gregorio-Tlalmanalco, Industrial Chalco-Tenango del Aire y Tramo Amecameca-Cuautla), (iii) la periferia exterior en el extremo norponiente de la ZMCM (distritos de Tepotzotlán-Villa del Carbón, Coyotepec-Teoloyucan), (iv) los dos distritos centrales (Tlatelolco y Centro Histórico), (v) el límite nororiental de la Ciudad de México y el Estado de México (distritos de Ticomán, TAD San Juan Ixhuatepec, Lázaro Cárdenas-Lomas de Tepeolulco, Teleférico Ecatepec y La Presa Tulpetlac) y (vi) la zona poniente de la ZMCM (distritos de Las Huertas, San Rafael Chamapa, San José de Los Leones y Fraccionamiento Industrial Naucalpan Poniente).⁵⁰

Cabe aclarar que el distrito representado en gris en el mapa 2.6 únicamente comprende el terreno donde se localiza el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM). Al no existir ningún hogar en ese distrito, no hay valores disponibles para él y por lo tanto se ha representado en la cartografía con un color diferente al resto.

⁵⁰ Es interesante como la concentración de porcentajes muy bajos de viajes en automóvil ubicado al poniente de la ZMCM (municipio de Naucalpan) se localiza entre dos de las tres concentraciones de porcentaje muy alto de uso del auto.

Mapa 2.6. Porcentajes de viajes en automóvil respecto al total de viajes por distrito de la EOD 2017



Fuente: elaboración propia con datos de la EOD 2017e entre los datos

La ausencia de datos fidedignos del número de vehículos en la ZMCM dificulta el llegar a conclusiones sobre la evolución en el tiempo y el territorio de la flota vehicular. No obstante, en los datos disponibles se observa de manera consistente que su ritmo de crecimiento ha sido mayor en los municipios conurbados del Estado de México e Hidalgo que en la Ciudad de México.

En cuanto a cobertura del TPM, si bien desde el 2000 la mancha urbana ya excedía de manera importante los límites administrativos del entonces Distrito Federal y la necesidad de ampliar la red de TPM afuera de la capital había sido plenamente reconocida por el gobierno, la cobertura en los municipios conurbados continuaba siendo limitada. Para 2019, gracias a la inauguración del tren suburbano y de tres líneas de Mexibús, la cobertura espacial de TPM en los municipios conurbados había aumentado. No obstante, a excepción del tren suburbano y la Línea B del metro, las líneas de TPM que operan en más de una entidad,

tienen una de sus terminales en las cercanías del límite estatal, lo cual obliga a los usuarios a realizar un trasbordo e impide un trayecto directo desde la ciudad central hasta la periferia.

Finalmente, las zonas de las ZMCM en las que se observa un porcentaje elevado del uso del automóvil respecto al total de viajes corresponden a áreas conocidas por ser de clase media alta y alta. El hecho de que algunas de ellas estén servidas por la red de TPM parece no atemperar el uso del automóvil. Esto refuerza la posibilidad de que en la ZMCM se observe el planteamiento teórico de que el ingreso es una variable que incentiva el uso del automóvil de manera importante.

3. El estudio de la elección del automóvil privado en la ZMCM

En este capítulo se realizan las regresiones logísticas y se analizan sus resultados con el objetivo de dar respuesta a la pregunta que ha motivado la presente investigación. En la primera sección se fundamenta en términos conceptuales porqué se ha seleccionado a la regresión logística como el método adecuado para realizar un análisis cuantitativo que permita establecer qué variables tienen mayor peso relativo en la elección del automóvil privado en la ZMCM para la realización de viajes intraurbanos.

En la segunda sección se presenta una somera revisión al planteamiento matemático de la regresión logística. Asimismo, se señala que el cambio medio en la probabilidad es el indicador particular que permitirá señalar qué tan importante es el peso relativo de una variable independiente en la elección de modo de transporte.⁵¹

En la tercera sección se describe de manera general la EOD 2017. Esta es la fuente principal de información de este capítulo y en tanto tal se ha considerado importante el mencionar sus características más relevantes. También se hace mención del proceso de captación de los datos, así como del proceso de validación de estos.

En la cuarta sección se presenta el modelo básico propuesto para la realización de la regresión logística. Éste consta de 12 variables independientes que buscan explicar la variable dependiente, a saber, si un individuo elige realizar sus desplazamientos en automóvil privado o en algún otro modo de transporte. Después de presentar el modelo básico, se mencionan las restricciones a las que se ha sometido el total de observaciones con el objetivo de realizar un acercamiento más preciso al problema de elección de modo de transporte. A continuación se describen las variables utilizadas y se establece qué comportamiento se espera que presenten los resultados. En este punto se señalan las limitantes metodológicas que tienen algunas variables. Particularmente, se explica la metodología utilizada para construir las variables incluidas en el modelo que no fueron obtenidas de la EOD 2017. Posteriormente se presentan cuadros con los estadísticos descriptivos y una matriz de correlación de las variables independientes.

⁵¹ En los trabajos del campo de la economía comúnmente se habla de “efectos marginales medios”. Sin embargo, Coca Perrailon reconoce que este concepto no es tan utilizado en otras disciplinas. En este trabajo se ha optado por utilizar el término “cambio medio en la probabilidad” utilizado por Gelman y Hill para referir al mismo concepto, o bien simplemente cambio en la probabilidad de observar la variable dependiente (Coca Perrailon, 2019, p. 13).

En la quinta sección del capítulo se analizan los resultados de las regresiones logísticas. Se espera que mediante la interpretación de los resultados se responda satisfactoriamente a la pregunta de investigación.

En la sexta sección se evalúa la robustez de los modelos elaborados mediante el análisis de sus capacidades predictivas. Finalmente, a fin de comparar los resultados obtenidos con aportaciones de otros autores, en la séptima sección se presenta una breve revisión de investigaciones que han estudiado el tema de elección de modo de transporte a través de métodos y variables similares a los aquí utilizados.

3.1. La microeconometría y la regresión logística

Como se ha expuesto desde la introducción, el problema de investigación es en esencia una cuestión de elección. Se busca entender cómo los habitantes de la ZMCM eligen un modo de transporte y para hacerlo se ha seleccionado un conjunto de variables independientes con base en la bibliografía revisada. Al seleccionar un método adecuado para realizar este estudio se optó por recurrir al campo de la Econometría, dado que ésta “desarrolla métodos para explicar el comportamiento de los individuos ante los procesos de decisión” (Cabrer Borrás et al., 2001, p. 16).

La regresión logística, también conocida como modelo *logit*, forma parte de la Microeconometría, que es la rama de la econometría que capta los procesos de decisión individual y las relaciones causales inherentes al proceso de decisión desde un punto de vista desagregado y que busca analizar el comportamiento más probable de cada individuo (Cabrer Borrás et al., 2001, p. 17). A diferencia de la Econometría que hace uso de modelos agregados para enfrentar los problemas de decisión, la Microeconometría provee “un conjunto de técnicas para estudiar y explicar los comportamientos individuales de las unidades decisorias, así como la posibilidad de contrastar estadísticamente las hipótesis efectuadas (Maddala en Cabrer Borrás et al., 2001, p. 17).

Al tomar en cuenta la clasificación de modelos microeconométricos basada en las características de la variable dependiente, la regresión logística se inscribe dentro del conjunto de los modelos de elección discreta dado que la variable dependiente no es cuantitativa, sino cualitativa, y se codifica mediante dígitos para indicar cuál de las opciones elige el individuo (Cabrer Borrás et al., 2001, p. 17). Como se expone al presentar el modelo,

los individuos pueden elegir entre usar el automóvil privado y usar cualquier otro modo de transporte para la realización de sus viajes. Claramente ambas opciones son de carácter cualitativo.

El fundamento de teoría económica en el que se basa la interpretación de los modelos de elección discreta es que los agentes económicos (en este caso individuos que realizan viajes intraurbanos) buscan maximizar su utilidad al realizar una elección. Así, la probabilidad de que un individuo i escoja alguna de las dos opciones que se le presentan dependen de que la utilidad que obtendrá de escoger la opción 1 sea mayor que la que le proporcionará la opción 0. La siguiente expresión sintetiza este planteamiento (Cabrer Borrás et al., 2001, 24-25 pp.):

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si } U_{i1} > U_{i0} \\ 0 & \text{si } U_{i0} > U_{i1} \end{cases}$$

La regresión logística que se presenta está comprendida también dentro de la categoría de modelos de respuesta dicotómica, pues únicamente hay dos alternativas posibles y ambas son mutuamente excluyentes (Cabrer Borrás et al., 2001, p. 17).⁵²

Como se mencionó, el objetivo primordial de la regresión logística en términos generales es la obtención del valor de probabilidad de que un individuo adopte una elección determinada dado el valor de ciertas variables independientes (Cabrer Borrás et al., 2001, p. 22).

3.2. La regresión logística

Se ha considerado a la regresión logística como un método adecuado para responder la pregunta de esta investigación debido a que “permite describir y probar hipótesis sobre las relaciones que se forman entre un resultado de carácter categórico y una o más variables predictoras categóricas o continuas” (Peng *et al.*, 2002, p. 4). Asimismo, los problemas de elección binaria presentan severos obstáculos para ser analizados con métodos de carácter

⁵² Cabe aclarar que no todas las regresiones logísticas son de carácter dicotómico. También las hay de carácter multinomial, es decir, cuando el individuo puede elegir entre más de dos alternativas y en consecuencia la variable dependiente puede tomar más de dos valores.

lineal, por ejemplo, mediante una regresión que utilice el método de mínimos cuadrados ordinarios dado el carácter dicotómico de la variable dependiente (Peng *et al.*, 2002, p. 4).

Según Anderson *et al.* se ha demostrado que la relación existente entre el valor esperado de la variable dependiente Y (denotado como $E(Y)$) y un conjunto de variables dependientes que puede ir de X_1 a X_j es descrita adecuadamente mediante la siguiente ecuación no lineal (2012, 684 pp.):

$$E(Y) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_j X_j}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_j X_j}}$$

Dado que los dos valores de la variable dependiente suelen codificarse como 0 y 1, el valor de $E(Y)$ proporciona la probabilidad de que $Y=1$ para un conjunto dado de valores de las variables independientes que van de X_1 a X_j . Debido a que $E(Y)$ se interpreta como una probabilidad, la ecuación de la regresión logística puede expresarse de la siguiente manera (Anderson *et al.*, 2012, 685 pp.):

$$E(Y) = P(Y = 1|X) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_j X_j}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_j X_j}}$$

A fin de conocer el efecto de los cambios de las variables dependientes sobre la probabilidad de que ocurra el evento ($Y=1$), se analizará el cambio medio en la probabilidad de Y que se obtendrán mediante el cálculo de las derivadas de Y respecto a la variable X_j de la siguiente forma:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\sum F'(X_j \beta)}{n} \beta_j$$

Al analizar los cambios medios en la probabilidad se busca identificar el efecto general de la variable independiente en el cambio en Y . Aunque existe un debate sobre qué indicador es más conveniente para informar los resultados de una regresión logística, Coca Perrailon señala que el método escogido permite establecer los resultados en términos de cambios medios en las probabilidades, lo cual permite una mejor comprensión del efecto de las

variables independientes en comparación con otras maneras de informar los resultados, como razón de momios (Coca Perrailon, 2019, p. 6).

3.3. La EOD 2017

La información que se utiliza en el modelo propuesto se obtuvo de la EOD 2017. El objetivo de esta encuesta es “obtener información que permita conocer la movilidad actual de los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México y las características de los viajes que realiza” (INEGI, 2018.b, p. 19) (INEGI, 2018.a, p. 6).

A continuación se listan sus características metodológicas más relevantes (INEGI, 2018.b, p. 20):

1. Población objetivo: personas de 6 años y más que son residentes habituales de la ZMCM.
2. Tamaño de la muestra: 66, 625 viviendas con sus respectivos hogares.⁵³
3. Cobertura geográfica: 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México divididas en 86 distritos, 59 municipios conurbados del Estado de México divididos en 108 distritos y un municipio conurbado de Hidalgo considerado como un solo distrito. Originalmente se obtuvo un tamaño de muestra de 313 viviendas por distrito, mismo que se ajustó a 320. En algunos distritos el tamaño debió ser ajustado nuevamente debido a la no respuesta y al efecto de diseño.⁵⁴ Como se mencionó en el segundo capítulo, uno de los distritos de la Ciudad de México corresponde en su totalidad al AICM y carece de viviendas particulares. Por tal motivo no se llevaron entrevistas en él. En el cuadro 3.1 se presenta el tamaño de la muestra de la EOD 2017.
4. Periodo de levantamiento: del 23 de enero al 17 de marzo de 2017.⁵⁵

⁵³ Un hogar se define como un “conjunto formado por una o más personas, unidas o no por lazos de parentesco que residen habitualmente en la misma vivienda particular y se sostienen de un mismo gasto para la alimentación” (INEGI, 2018.b, p. 40). Con esta definición queda claro que es posible que en una misma vivienda cohabiten más de un hogar.

⁵⁴ El efecto de diseño es uno de los elementos considerados en la fórmula utilizada para obtener el tamaño de la muestra por distrito y se define como “el cociente de la varianza en la estimación del diseño utilizado, entre la varianza obtenida, considerando un muestreo aleatorio simple para un mismo tamaño de muestra” (INEGI, 2018.a, p. 6).

⁵⁵ Aunque los documentos de diseño de la EOD 2017 establecen que el levantamiento se llevó a cabo del 23 de enero al 3 de marzo de 2017, una nota al pie en el documento metodológico especifica que debido a que se

Cuadro 3.1. Distribución de la muestra de la EOD 2017

Entidad	Distritos	Manzanas	Viviendas
Ciudad de México	85	5,376	27,349
Estado de México	108	6,912	38,821
Hidalgo	1	64	455
Total	194	12,252	66,625

Fuente: elaboración propia con información de INEGI.2018.a. p. 6

El método de captación fue la aplicación de dos entrevistas en las viviendas. En la primera se captó información sobre el número de hogares por vivienda, las características sociodemográficas de los integrantes y los vehículos disponibles. Al finalizar esta entrevista se le proporcionó a cada integrante del hogar de 6 años en adelante dos tarjetas de viajes para registrar la información correspondiente a los desplazamientos. Una para días entre semana (martes, miércoles o jueves) y otra para sábados. En caso de que un integrante del hogar estimara hacer más de cuatro viajes al día se le entregó una tarjeta adicional. En la segunda entrevista se identificó a los viajeros y con el apoyo de las tarjetas de viajes se les solicitó responder preguntas sobre sus desplazamientos (INEGI, 2018.b, p. 20).

Cada tarjeta de viajes incluye campos relacionados al origen del viaje, el modo de transporte utilizado, las paradas intermedias realizadas y el destino del viaje. Junto con las tarjetas de viaje se proporcionó un instructivo para guiar a los encuestados en el registro de la información (INEGI, 2018.b, p. 23).

Los encuestados se clasificaron en dos tipos de informantes: los “informantes adecuados” son encuestados de 15 años o más que integran un hogar y que conocen los datos sociodemográficos básicos de los demás integrantes y los “segundos informantes” son los encuestados de 6 años en adelante entrevistados en la segunda entrevista. Cuando no fue factible una respuesta directa, los datos fueron proporcionados por otro integrante del hogar. La recolección de los viajes de una persona ausente sólo pudo hacerse si se tenían a la mano

amplió el tamaño de la muestra, el periodo de levantamiento en campo concluyó hasta el 17 de marzo de 2017 (INEGI, 2018.a, p.2).

sus tarjetas de viajes donde se había registrado la información correspondiente a sus desplazamientos (INEGI, 2018.b, p. 20).

La información recabada en el levantamiento pasó por un proceso de validación cuyo objetivo era verificar que ésta cumpla con los requisitos de congruencia lógica y aritmética, completitud e integridad. Los datos que no cumplieran con tales requisitos se les aplicaba un tratamiento bajo ciertos criterios conceptuales que asegurasen la eliminación de inconsistencias sin afectar la validez de los datos originales. La validación se llevó a cabo en dos fases. Primero se realizó una validación primaria al momento del levantamiento y posteriormente una evaluación secundaria en las oficinas centrales (INEGI, 2018.b, 23-24 pp.).⁵⁶

3.4. Descripción del modelo

El siguiente modelo se basa en la revisión bibliográfica realizada en el capítulo 1. Éste supone que la probabilidad de que un individuo realice un viaje en automóvil privado depende de un conjunto de 12 variables independientes.

$$\Pr(\text{auto} = 1 | X_i) = \beta_0 + \beta_1 \text{nah} + \beta_2 \text{ejh} + \beta_3 \text{esd} + \beta_4 \text{edp} + \beta_5 \text{sep} + \beta_6 \text{tpm}_i + \beta_7 \text{tpm}_j + \beta_8 \text{dij} + \beta_9 \text{pt} + \beta_{10} \text{pe} + \beta_{11} \text{hp} + \beta_{12} \text{ent}$$

El objetivo puntual de este modelo es conocer los pesos relativos de las variables, a fin de establecer cuáles son las que más influyen en la elección del automóvil privado de los habitantes de la ZMCM. Cabe aclarar para realizar un acercamiento más certero a una situación de elección se realizó un filtro al total de viajes observados. Aquellas observaciones que incurren en al menos una de las siguientes restricciones no fueron incluidas en la regresión logística:

1. Se excluyeron los viajes realizados por menores de 15 años. Esto debido que los menores a ese umbral etario están impedidos legalmente para circular.⁵⁷

⁵⁶ Durante el proceso de validación se trató de evitar los siguientes problemas (INEGI, 2018.b, p. 24):

- (i) valores fuera de rango: ocurre cuando los valores no están comprendidos en los rangos esperados de las variables.
- (ii) omisiones: ocurre cuando una de las preguntas debe contener información y por alguna causa carece de ella.
- (iii) secuencia: se verifica que los pases y filtros de los cuestionarios se hayan aplicado de manera correcta.
- (iv) inconsistencias: se verifica que la relación entre variables lógicamente relacionadas sea correcta.

⁵⁷ En la Ciudad de México se otorga un permiso de conducir a los mayores de 15 años y menores de 18.

2. Se excluyeron los viajes cuyos puntos fueron diferentes a la vivienda de origen, pues se parte del supuesto de que la elección del automóvil privado ocurre precisamente en la vivienda y es una decisión que acompaña al individuo a lo largo de su jornada.
3. Se excluyeron los viajes cuyo distrito de destino se ubica fuera de la ZMCM debido a que el objeto de la investigación son los viajes intraurbanos.
4. Se excluyeron los viajes realizados en sábado debido a la caída en el número de viajes respecto a los realizados entre semana. Esto se traduce en niveles de congestión más bajos (tanto en transporte público como en vialidades) lo cual ocasiona que los términos en los que se realiza la elección sean diferentes a los que se presentan entre semana. Cabe mencionar que la EOD 2017 no toma en cuenta los viajes realizados en domingo.

A continuación se describen puntualmente las variables utilizadas y se señalan los resultados esperados en cada caso:

- *auto*: indica si el viaje fue realizado en automóvil privado o en algún otro modo de transporte. Es la variable dependiente de la regresión logística.
- *nah*: esta variable refiere al número de autos y camionetas por hogar. Se espera que ante un mayor número de autos o camionetas en el hogar, la probabilidad de que el individuo haga uso de estos vehículos aumente de manera importante. De acuerdo con la revisión bibliográfica del capítulo 1, esta podría ser una de las variables con mayor peso relativo.
- *ejh*: hace referencia a la escolaridad del jefe del hogar. Se espera que ante un aumento en la escolaridad, la probabilidad del uso del automóvil privado aumente. Esto debido a la relación que existe entre la escolaridad y el ingreso. Aunque se hubiera preferido contar con información de escolaridad referida al individuo que realiza el viaje, la EOD 2017 únicamente tiene esa información respecto al jefe de hogar, el cual se define como la “persona reconocida como tal por los demás integrantes del hogar y puede ser hombre o mujer” (INEGI, 2018.b, p. 40). Se optó por excluir del modelo a 136 observaciones que manifestaron desconocer la escolaridad del jefe del hogar, lo

cual representa 0.1% de la base de datos resultante una vez eliminadas las observaciones que no cumplieran con las restricciones descritas en párrafos anteriores.

- *esd*: el estrato sociodemográfico funge como un *proxy* del ingreso de la persona que realiza el viaje. Se espera que a medida que el estrato sociodemográfico aumenta, también lo haga la probabilidad del uso del automóvil. El documento metodológico de la EOD 2017 apunta que la estratificación se hizo considerando “las características sociodemográficas de los habitantes de las viviendas, así como la calidad y equipamiento de las mismas”. No obstante, esta estratificación está referida a las manzanas, consideradas por la EOD 2017 como unidades primarias de muestreo (INEGI, 2018.a, p. 6).⁵⁸ Se optó por incluir este indicador debido a la relevancia que tiene el ingreso para la elección del automóvil privado, la cual se observó tanto en la revisión bibliográfica como en el análisis cartográfico de la distribución espacial del uso del automóvil privado en la ZMCM. Sin embargo es necesario mencionar sus limitantes. En primer lugar sólo se tienen cuatro categorías de estratificación (bajo, medio bajo, medio alto y alto), lo cual limita la capacidad de análisis debido a un alto nivel de agregación. En segundo lugar, como se mencionó, la medida no está asociada a los individuos ni a las viviendas, sino a las manzanas donde se ubican las viviendas de los individuos. Esto supone un grado importante de homogeneidad en la población por manzana, aunque en cierta medida se corre el riesgo de incurrir en una falacia ecológica.
- *edp*: es la edad de la persona que realiza el viaje. Se espera que en términos generales el aumento en la edad incremente la probabilidad de que el viaje sea realizado en automóvil privado, aunque los efectos de esta variable pueden estar más ligados a los cambios en el ciclo de vida (estudiante-trabajador-retirado).

⁵⁸ Se utilizaron 34 indicadores para realizar la estratificación de las unidades primarias de muestreo, los cuales a su vez fueron clasificados en tres categorías, a saber: (i) proporción de población (características asociadas a los habitantes), (ii) proporción de viviendas particulares habitadas (características asociadas a las viviendas) y (iii) proporción de viviendas particulares habitadas que disponen de bienes (características asociadas a la posesión de bienes en las viviendas) (INEGI, 2018.a, p. 10) . Debido al número de variables y a la relevancia de conocerlas se ha optado por incluirlas en los anexos de la presente investigación.

- *sep*: refiere al sexo de la persona que realiza el viaje. Se espera que la probabilidad de que el viaje se realice en automóvil privado aumente cuando los viajeros sean hombres.
- *tpm_i*: esta variable hace referencia al porcentaje de la superficie construida del distrito de origen que está servida por estaciones de la red de TPM. Para obtener esta variable se utilizó el marco geoestadístico de INEGI así como la cartografía de distritos de la EOD 2017 del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Se considera como superficie servida al territorio del distrito que se ubica a una distancia euclidiana igual o menor a 800 metros de alguna estación de TPM. Se ha utilizado ese umbral debido a que en la revisión bibliográfica se identificó que media milla (804.67 m) es una distancia utilizada comúnmente para establecer las áreas de servicio de las estaciones de transportes. Se optó por redondearla a 800 metros. Posteriormente se obtuvo el porcentaje de esta superficie servida respecto a la superficie construida total.⁵⁹ Se espera que un mayor porcentaje de superficie distrital servida por TPM sea un incentivo para el uso del transporte público y por lo tanto se reduzca la probabilidad del uso del automóvil. No se tomó en cuenta a las estaciones de la Línea 7 del Metrobús debido a que aún no estaba en operación cuando se realizó la encuesta.
- *tpm_j*: la variable refiere al porcentaje de la superficie construida del distrito de destino. El procedimiento de obtención de la variable es igual a la anterior. De igual forma, se espera que un mayor porcentaje reduzca las probabilidades del uso del automóvil privado.
- *dij*: se refiere a la distancia entre el origen y el destino. Debido a que no se tienen los puntos precisos de origen y destino para cada viaje, se ha realizado una aproximación por medio de la distancia euclidiana entre los centroides de los distritos de origen y destino. En cuanto a los viajes realizados en un mismo distrito, se calculó mediante

⁵⁹ Se considera como superficie construida a los polígonos de localidades urbanas y rurales ameznadas. El marco geoestadístico utilizado corresponde a 2017. El utilizar la totalidad del territorio del distrito ocasionaría una subestimación de la cobertura de TPM en los distritos con importantes extensiones de superficie no construida.

raster (celdas de 100 metros de lado) un promedio de la distancia distrital hacia el centroide del distrito. En el caso de los distritos cuya superficie construida no tenía continuidad física, el promedio de la distancia se realizó por localidad. La distancia fue calculada en kilómetros.

- *pt*: esta variable es de carácter binario y refiere a si el propósito de viaje es ir a trabajar o no. Se vislumbra que el que el propósito de viaje sea ir al trabajo puede aumentar las probabilidades de que éste se realice en automóvil privado.
- *pe*: la variable es de carácter binario y refiere a si el propósito de viaje es ir a estudiar o no. Se espera que cuando el propósito de viaje sea ir a estudiar la probabilidad de que se use el automóvil se reduzca.
- *hp*: esta variable es de carácter binario y señala si el viaje se realiza en hora pico o no. Se ha considerado como hora pico a los viajes iniciados entre 6 y 8:59 de la mañana, 12 y 14:59 de la tarde y 18 a 20:59 de la noche. Se espera que la congestión vial observada durante las horas pico desincentive el uso del automóvil privado.
- *ent*: esta variable hace referencia a la entidad federativa en la que se localiza el origen del viaje. Con base en las cifras de flota vehicular presentadas en el capítulo 2, se espera que la probabilidad del uso del automóvil aumente cuando el viaje tenga su origen en la Ciudad de México.

Cuadro 3.2. Descripción de variables del modelo *logit*

Variable	Identificador	Tipo	Valores posibles	Relación con revisión bibliográfica
Uso del automóvil privado	<i>auto</i>	Dependiente Binaria o <i>dummy</i>	(0) usó auto privado en el viaje (1) no usó auto privado en el viaje	No aplica
Número de autos o camionetas en el hogar	<i>nah</i>	Independiente Discreta	(1) 1 auto o camioneta (2) 2 autos o camionetas (3) 3 autos o camionetas	Factor sociodemográfico

			(4) 4 autos o camionetas (5) 5 autos o camionetas (6) 6 autos o camionetas (7) 7 autos o camionetas (8) 8 y más autos o camionetas	
Escolaridad del jefe de hogar	<i>ejh</i>	Independiente Categorica Ordinal	(0) ninguno (1) preescolar o kínder (2) primaria (3) Secundaria (4) Carrera técnica con secundaria terminada (5) normal básica (6) preparatoria o bachillerato (7) carrera técnica con preparatoria terminada (8) licenciatura o profesional (9) maestría o doctorado	Factor sociodemográfico
Estrato sociodemográfico del individuo que realiza el viaje	<i>esd</i>	Independiente Categorica Ordinal	(1) bajo (2) medio bajo (3) medio alto (4) alto	Factor sociodemográfico
Edad de la persona que realiza el viaje	<i>edp</i>	Independiente Discreta	(6-99) años cumplidos	Factor sociodemográfico
Sexo de la persona que realiza el viaje	<i>sep</i>	Independiente Binaria o <i>dummy</i>	(0) mujer (1) hombre	Factor sociodemográfico
Indicador de cobertura de la superficie construida del distrito de origen a estaciones de TPM	<i>tpm_i</i>	Independiente Continua	(0%-100%) porcentaje de la superficie construida del distrito de origen que está a 800 metros o menos de estaciones de TPM	Factor espacial
Indicador de cobertura de la superficie construida del distrito de destino a estaciones de TPM	<i>tpm_j</i>	Independiente Continua	(0%-100%) porcentaje de la superficie construida del distrito de destino que está a 800 metros o menos de estaciones de TPM	Factor espacial

Distancia del distrito origen a destino	<i>dij</i>	Independiente Continua	(0-73) kilómetros de distancia del origen al destino	Factor de característica de viaje
Propósito de ir al trabajo	<i>pt</i>	Independiente Binaria o <i>dummy</i>	(0) otro propósito (1) ir al trabajo	Factor de característica de viaje
Propósito de ir a estudiar	<i>pe</i>	Independiente Binaria o <i>dummy</i>	(0) otro propósito (1) ir al trabajo	Factor de característica de viaje
Hora pico	<i>hp</i>	Independiente Binaria o <i>dummy</i>	(0) el viaje no inicia en hora pico (1) el viaje inicia en hora pico	Factor de característica de viaje
Entidad de origen	<i>ent</i>	Independiente Binaria o <i>dummy</i>	(0) el viaje tiene su origen en un municipio conurbado de la ZMCM (1) el viaje tiene su origen en la Ciudad de México	Variable <i>ad hoc</i>

Elaboración propia

En el siguiente cuadro se presentan los estadísticos descriptivos de las variables independientes:

Cuadro 3.3. Estadísticos descriptivos de las variables independientes⁶⁰

VARIABLES	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Factores sociodemográficos				
<i>nah</i>	0.56	0.76	0	8
<i>ejh</i>	4.94	2.36	0	9
<i>esd</i>	2.54	0.71	1	4
<i>edp</i>	39.66	16.07	15	97
<i>sep</i>	0.47	0.50	0	1
Factores espaciales				
<i>tpm_i</i>	24.88	31.63	0	100
<i>tpm_j</i>	36.28	36.26	0	100
Factores de características de viaje				

⁶⁰ Téngase en cuenta que los estadísticos descriptivos presentados en el cuadro 3.3. y la matriz de correlaciones del cuadro 3.4 incluyen únicamente las observaciones de los viajes de hogares que no tienen automóviles privados.

<i>dij</i>	7.17	8.16	0.67	72.77
<i>pt</i>	0.50	0.50	0	1
<i>pe</i>	0.12	0.32	0	1
<i>hp</i>	0.66	0.47	0	1
Factor ad hoc				
<i>ent</i>	0.45	0.50	0	1
Observaciones	135,076			

Elaboración propia con datos de INEGI, 2018.c

Con base en el modelo principal presentado en el apartado anterior se realizaron dos regresiones logísticas preliminares. La primera contempla las 12 variables incluidas en dicho modelo mientras la segunda excluye la variable distancia entre origen y destino (*dij*) debido a sus limitaciones metodológicas. Por lo tanto este segundo modelo se expresa de la siguiente manera:

$$\Pr(\text{auto} = 1 | X_i) = \beta_0 + \beta_1 \text{nah} + \beta_2 \text{ejh} + \beta_3 \text{esd} + \beta_4 \text{edp} + \beta_5 \text{sep} + \beta_6 \text{tpm}_i + \beta_7 \text{tpm}_j + \beta_8 \text{pt} + \beta_9 \text{pe} + \beta_{10} \text{hp} + \beta_{11} \text{ent}$$

A continuación se presenta una matriz de correlación entre las variables independientes. Se marcaron con fuente negrilla las nueve correlaciones cuyo valor absoluto es superior a 0.3. Estas correlaciones elevadas eran esperadas, por ejemplo, se anticipaba que habría una correlación entre el número de autos por hogar y el nivel de escolaridad del jefe de familia debido a la traducción de ésta en un mejor nivel de ingreso, lo cual a su vez se confirma con la correlación elevada entre estrato sociodemográfico del hogar y nivel de ingreso.

Cuadro 3.4. Matriz de correlación de las variables independientes

	<i>nah</i>	<i>niv</i>	<i>esd</i>	<i>edp</i>	<i>sep</i>	<i>tpm_i</i>	<i>tpm_j</i>	<i>dij</i>	<i>pt</i>	<i>pe</i>	<i>hp</i>	<i>ent</i>
nah	1											
niv	0.315	1										
esd	0.309	0.344	1									
edp	0.041	-0.229	0.095	1								
sep	0.043	0.051	0.007	-0.011	1							
tpm_i	0.047	0.171	0.280	0.085	-0.001	1						

<i>tpm_j</i>	0.037	0.172	0.197	0.067	0.079	0.549	1					
<i>dij</i>	0.039	0.152	0.005	-0.056	0.196	-0.122	0.222	1				
<i>pt</i>	0.008	0.093	0.014	0.017	0.316	0.008	0.136	0.287	1			
<i>pe</i>	0.029	0.135	0.018	-0.435	0.024	-0.009	-0.022	0.041	-0.359	1		
<i>hp</i>	0.008	0.067	0.006	-0.145	-0.009	-0.003	-0.030	-0.0500	0.047	0.093	1	
<i>ent</i>	0.077	0.140	0.221	0.083	-0.006	0.456	0.360	-0.0992	0.014	-0.015	0.003	1

elaboración propia con datos de INEGI, 2018.c

Inicialmente se consideró realizar una regresión logística que analizara los viajes de todos los hogares, contaran o no con automóvil privado. Los resultados de estos análisis preliminares se presentan en el cuadro 3.5:

Cuadro 3.5. Resultados y capacidad predictiva de regresiones logísticas preliminares

Variables	Preliminar 1	Preliminar 2
<i>nah</i>	.1672463**	.1673025**
<i>ejh</i>	.016295**	.017186 **
<i>esd</i>	.0328888**	.0324722**
<i>edp</i>	.0017077**	.001729**
<i>sep</i>	.0671369**	.0699166**
<i>tpm_i</i>	-.0000687	-.0001982**
<i>tpm_j</i>	-.0003619**	-.0002184**
<i>dij</i>	.0020119**	---
<i>pt</i>	.0252663**	.0342531**
<i>pe</i>	-.0561781**	-.0498202**
<i>hp</i>	.0204789 **	.0183872**
<i>ent</i>	.0132801**	.0082966 **
Sensibilidad	37.81%	37.46%
Especificidad	95.71%	95.78%
Valor predictivo positivo	67.15%	67.30%
Valor predictivo negativo	86.90%	86.85%
Observaciones clasificadas correctamente	84.81%	84.80%
Observaciones	135,076	135,076

Con base en los resultados de estas dos regresiones logísticas preliminares, se identificaron dos fenómenos que motivaron la realización de regresiones logísticas adicionales con el fin de mejorar el análisis de esta investigación. En primer lugar, se optó por excluir a los hogares que reportaron no tener automóvil privado debido a que en ellos no existe realmente la alternativa de elegir dicho modo. En segundo lugar, se identificó al sexo de la persona que realiza el viaje como la segunda con el mayor peso relativo (el ser hombre aumenta en casi 7% la probabilidad de viajar en automóvil privado). Ante la importancia de este componente se consideró realizar regresiones específicas que sólo tomaran en cuenta a uno de los dos sexos, a fin de conocer a mayor detalle qué diferencias puede haber entre la movilidad de los hombres y la de las mujeres.

En suma, se optó por realizar seis regresiones logísticas más. Como se mencionó, en todas se ha excluido a los viajes de hogares que carecen de automóviles privados. En los modelos 1 y 2 se analiza a la población de manera general, en los modelos 3 y 4 se estudia únicamente a los hombres y en los modelos 5 y 6 sólo a las mujeres. A continuación se presentan las especificidades de cada modelo:

1. Modelo 1: se incluyen todas las variables.
2. Modelo 2: se omite la variable de distancia (*dij*).
3. Modelo 3: se excluyen los viajes realizados por mujeres y en consecuencia se omite la variable sexo.
4. Modelo 4: se excluyen los viajes realizados por mujeres y en consecuencia se omite la variable sexo (*sep*). Asimismo, se omite la variable de distancia entre origen y destino (*dij*).
5. Modelo 5: se excluyen los viajes realizados por hombres y en consecuencia se omite la variable sexo (*sep*).
6. Modelo 6: se excluyen los viajes realizados por hombres y en consecuencia se omite la variable sexo (*sep*). Asimismo, se omite la variable de distancia entre origen y destino (*dij*).

3.5. Resultados

En el cuadro 3.6 se presentan los resultados de las seis regresiones logísticas realizadas. La información que se analiza en este apartado se sintetiza en él. Una manera adecuada de interpretar los cambios predichos en la probabilidad es que el aumento en una unidad de la variable *X*, incrementa (disminuye, en caso de signo negativo) la probabilidad de que *Y* sea igual a 1 en un porcentaje que se obtiene al multiplicar el resultado señalado en el cuadro 3.6 por cien.

Para el caso de las variables binarias o *dummy*, la interpretación es más adecuada e intuitiva al plantear que la probabilidad de que *Y* sea igual a 1 aumenta o disminuye en cierto porcentaje (también obtenido al multiplicar el resultado del cuadro 3.6 por 100) al observarse el valor de referencia (codificado con 1) en comparación con el valor base (codificado en 0).

Cuadro 3.6. Resultados y capacidad predictiva de regresiones logísticas

Variables	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Factores sociodemográficos						
<i>nah</i>	.1491012**	.1491667**	.1492441**	.149005**	.1454612**	.1458861**
<i>ejh</i>	.0292844**	.0310715**	.0217962**	.0230149**	.0361457**	.0383518**
<i>esd</i>	.0707961**	.069434**	.0589951**	.0580158**	.0813324**	.079733**
<i>edp</i>	.0033824**	.0034282**	.0033777**	.0033984**	.0031917**	.003248**
<i>sep</i>	.1206345**	.1257658**	---	---	---	---
Factores espaciales						
<i>tpm_i</i>	-.0003216**	-.0005718**	-.0003067*	-.0004578**	-.0003437*	-.0006996**
<i>tpm_j</i>	-.0006806**	-.0004057**	-.0009061**	-.0007422**	-.000446**	-.0000534
Factores de características de viaje						
<i>dij</i>	.0040133**	---	.0023551**	---	.0059794**	---
<i>pt</i>	.0621806**	.0799111**	.0195678*	.0285911**	.0629341**	.0926711**
<i>pe</i>	-.0976852**	-.0834075**	-.2210033**	-.215156**	-.0161372	.0121441
<i>hp</i>	.0466431**	.0430065**	.0391026**	.0369496**	.0574219**	.0520677**
Factor ad hoc						
<i>ent</i>	.0372707**	.0281682**	.0377777**	.031036**	.0344588**	.0240562**
Medidas de bondad de ajuste y validación de probabilidades predichas						
Sensibilidad	47.40%	47.19%	56.31%	56.23%	40.32%	39.26%
Especificidad	83.48%	83.73%	70.79%	70.62%	90.49%	90.90%
Valor predictivo positivo	65.39%	65.63%	63.86%	63.70%	66.71%	67.10%

Valor predictivo negativo	70.68%	70.65%	63.86%	63.77%	76.23%	75.99%
Observaciones clasificadas correctamente	69.16%	69.22%	63.86%	63.74%	74.38%	74.32%
Observaciones	53,959	53,959	26,089	26,089	27,870	27,870

*significancia estadística al 5% **significancia estadística al 1%

Elaboración propia con datos de INEGI, 2018.c

A fin de comparar rápidamente los pesos relativos de las variables en cada modelo se elaboró el cuadro 3.7, en el cual se presenta el puesto que ocupa la variable x en un *ranking* de los resultados presentados en el cuadro 3.6. Cabe aclarar que se han tomado en cuenta valores absolutos para hacer el ordenamiento de los resultados, debido a que el interés es observar qué tan importante es el cambio que el aumento de X ocasiona en Y , independientemente de si dicho cambio es positivo o negativo.

Cuadro 3.7. Puesto de la variable en *ranking* de pesos relativos de cada modelo

Variabes	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
<i>nah</i>	1	1	2	2	1	1
<i>ejh</i>	8	7	6	7	5	5
<i>esd</i>	4	5	3	3	2	3
<i>edp</i>	10	9	8	8	8	7
<i>sep</i>	2	2	13	13	13	13
<i>tpm_i</i>	12	10	11	10	10	8
<i>tpm_j</i>	11	11	10	9	9	13
<i>dij</i>	9	13	9	13	7	13
<i>pt</i>	5	4	7	6	3	2
<i>pe</i>	3	3	1	1	13	13
<i>hp</i>	6	6	4	4	4	4
<i>ent</i>	7	8	5	5	6	6

Elaboración propia con datos de INEGI, 2018.c

Nota: se ha señalado con un “13” a aquellas variables que no fueron consideradas en el modelo o que no fueron estadísticamente significativas al menos al 5%.

De acuerdo con los resultados de las seis regresiones logísticas, las variables independientes influyen de la siguiente manera en los cambios de la probabilidad de que un viaje se realice en automóvil:⁶¹

1. Número de autos o camionetas por hogar: el número de automóviles en el hogar resulta de las variables con mayor peso relativo en el proceso de elección modal. Salvo en el caso de los modelos aplicados únicamente a los hombres (3 y 4), su peso relativo fue mayor al de todas las demás variables, dado que el aumento de un automóvil en el hogar incrementa en alrededor de 15% la probabilidad de que el individuo se mueva en automóvil. En las regresiones preliminares su peso fue aún mayor, pues el aumento de esta probabilidad rondaba el 18%. Con base en la bibliografía revisada, se esperaba que ésta fuera una de las variables más relevantes para explicar un aumento en el uso del automóvil privado.
2. Escolaridad del jefe del hogar: el peso relativo de esta variable puede considerarse como medio y su efecto es de carácter positivo (más escolaridad del jefe del hogar incrementa la probabilidad de realizar el viaje en auto privado). Su puesto en el ranking de pesos relativos oscila entre el quinto y el octavo lugar. No obstante, se observa que su peso es mayor en los modelos en los que únicamente se estudia mujeres que en aquéllos donde sólo se estudia hombres o la población en general. Mientras en el caso de los desplazamientos de mujeres, el incremento de un nivel de escolaridad del jefe del hogar aumenta la probabilidad del uso del automóvil privado en cerca de 4%, en el caso de los hombres este incremento está limitado a alrededor de 2%. El comportamiento concuerda con lo esperado según la revisión bibliográfica debido al vínculo entre escolaridad e ingreso. En el modelo esto se observa en la correlación existente entre la variable *ejh* y el estrato sociodemográfico (*esd*).
3. Estrato sociodemográfico: esta variable tiene un peso relativo alto y con efecto positivo, pues el cambio a un estrato sociodemográfico más elevado aumenta la

⁶¹ Se considera como un peso relativo “alto” a las variables que ocupan los primeros cuatro puestos del ranking del cuadro 3.7, como “medio” a las variables ubicadas en los puestos del 5 al 8 y como “bajo” a las últimas cuatro variables.

probabilidad de usar el automóvil privado. En el caso de la población general, el aumento de la probabilidad de usar el coche es de aproximadamente 7%, mientras que en el caso de los hombres y de las mujeres es de alrededor de 6 y 8%, respectivamente. Al igual que en la variable anterior, el efecto en la probabilidad es mayor en los modelos que estudian a las mujeres. El comportamiento concuerda con el esperado.

4. Edad de la persona que realiza el viaje: esta variable tiene un peso relativo bajo y un efecto positivo, es decir, el incremento en la edad aumenta la probabilidad del uso del automóvil privado. En las seis regresiones logísticas realizadas el aumento en un año incrementa alrededor de 3% la probabilidad de usar automóvil privado. Aunque se esperaba este comportamiento, debe aclararse que este modelo no permite observar las particularidades en el ciclo de vida de los individuos (p. ej. que los ancianos al estar retirados o enfermos suelen desplazarse menos).
5. Sexo de la persona que realiza el viaje: tanto en los modelos preliminares como en el modelo 1 y 2 esta variable obtuvo el segundo mayor peso relativo, únicamente detrás del número de automóviles por hogar. No obstante, la diferencia entre estos pares de modelos es notable. Mientras que en los modelos preliminares (estos toman en cuenta los viajes de hogares donde no hay automóviles privados) los hombres tenían alrededor de 7% más de probabilidad de usar el automóvil privado, en los modelos 1 y 2, esta probabilidad aumentaba a 12%. Esto sugiere que en los hogares que cuentan con automóviles privados, los hombres suelen tener prevalencia sobre su uso tal como señalan Hamilton y Jenkins. Cabe destacar la alta correlación que existe entre la variable *sep* y la de *pt*. Aunque este comportamiento era esperado, el elevado peso relativo fue sorprendente y motivó a realizar las seis regresiones logísticas finales. Debido a que los modelos 3, 4, 5 y 6 se enfocaban únicamente en hombres o mujeres, esta variable resultó prescindible.
6. Cobertura espacial del TPM en los distritos de origen: esta variable tiene un peso relativo bajo y una relación negativa con la variable dependiente, es decir, a mayor

cobertura de estaciones de TPM en el distrito de origen, la probabilidad de usar automóviles privados se reduce. No obstante, como se mencionó, el peso de esta variable es ínfimo: un aumento de 1% en la cobertura espacial de TPM en la superficie del distrito ocasiona una disminución en la probabilidad de usar auto privado de entre -0.03% y -0.06%. Si bien la relación entre esta variable y la dependiente es la que se esperaba, se anticipaba que fungiría como un inhibidor importante del uso del automóvil. Claramente no el caso.

7. La cobertura espacial del TPM en los distritos de destino: al igual que en la variable anterior, sostiene una relación negativa con la variable dependiente y su peso relativo es bajo. Con un aumento de 1% en la cobertura espacial de TPM en la superficie del distrito de destino únicamente hay una disminución en la probabilidad de usar automóvil de entre -0.06 y -0.04%. Cabe resaltar que esta variable no es estadísticamente significativa en el caso del modelo 6.
8. Distancia entre origen y destino: esta variable manifestó una relación positiva con la variable dependiente y un peso relativo medio. Así, se observó que a mayor distancia aumenta la probabilidad de usar el automóvil privado. Sin embargo, el aumento de un kilómetro en el desplazamiento parece tener un efecto limitado en la decisión, pues la probabilidad de usar el coche aumenta únicamente entre 0.2 y 0.6%, dependiendo del modelo.
9. Ir a trabajar como propósito del viaje: esta variable tiene una relación positiva con la independiente y tiene un peso medio para el caso de la población general y los hombres, pero un peso alto en el caso de las mujeres. Mientras a los primeros, el ir a trabajar sólo les aumenta entre 2 y 3% la probabilidad de usar el automóvil, en el caso de las segundas el incremento en la probabilidad del uso del coche es de entre 6 y 9%. Esto sugiere que el trabajar otorga mayor poder de negociación a las mujeres sobre el uso de los automóviles del hogar, lo cual a su vez puede deberse a una mayor independencia financiera.

10. Ir a estudiar como propósito del viaje: esta variable tiene una relación negativa con la variable dependiente y su peso es alto. Sorpresivamente, en los modelos que únicamente estudian a los hombres, su peso relativo supera incluso al de la variable del número de automóviles por hogar, con lo cual se vuelve la más importante en esos casos. Los resultados indican que cuando el propósito del viaje es ir a estudiar, las probabilidades de que un hombre realice el desplazamiento en auto se reducen en aproximadamente 22%. En el caso de los modelos de mujeres, la variable no resultó estadísticamente significativa.

11. Inicio de viaje en hora pico: esta variable tiene una relación positiva con la variable dependiente y su peso relativo en la elección es medio. Por lo tanto, los resultados indican que la probabilidad de usar el automóvil privado aumenta cuando el viaje inicia en hora pico. Nuevamente hay diferencias entre ambos sexos: mientras en el caso de las mujeres el iniciar el viaje en hora pico aumenta entre 5 y 6% la probabilidad de usar el automóvil privado, en el caso de los hombres el aumento de la probabilidad es de cerca del 4%. Los resultados sugieren que, contrario a lo que se esperaba, la saturación del transporte público desincentiva con mayor fuerza el uso de éste en comparación con la magnitud en la que la congestión vehicular inhibe el uso del automóvil.

12. Entidad de origen de viaje: los resultados indican que la probabilidad de que los viajes se realicen en automóvil privado aumenta cuando estos tienen origen en la Ciudad de México. Por el contrario, dicha probabilidad se reduce cuando el viaje se origina en los municipios conurbados del Estado de México e Hidalgo. El peso relativo de esta variable es mediano. En términos generales el cambio en la probabilidad de los hombres es ligeramente superior que en el caso de las mujeres.

A manera de resumen, a continuación se listan los hallazgos más importantes identificados mediante el análisis de los resultados de las regresiones logísticas:

1. El sexo es una variable sumamente relevante para la elección de modo de transporte, tanto en la población general, como en los hogares que sí cuentan con automóvil.
2. En el caso de los hombres (modelos 3 y 4), fue sorprendente que la variable *propósito de ir a estudiar* (relación negativa) superara en peso relativo a la variable de *número de automóviles por hogar*. Esto sugiere que para los hombres es relevante cambiar hacia el automóvil privado al terminar su educación. Esto contrasta con el peso relativo mediano que tiene la variable de propósito de ir a trabajar.
3. En el caso de las mujeres (modelos 5 y 6), el propósito de ir a trabajar fue una de las variables más importantes, lo cual sugiere que el formar parte del mercado laboral no sólo significa un incremento en el poder adquisitivo de la mujer, sino también mayor independencia y capacidad de negociación para hacer uso de los automóviles disponibles en el hogar.
4. La poca relevancia de la cobertura espacial de estaciones de TPM en los distritos de origen y destino indica que éste no está funcionando como una alternativa atractiva para los habitantes de la ZMCM. Los resultados sugieren que el que un viaje se origine o tenga por destino un distrito con una alta cobertura de TPM no es un factor relevante en la elección de modo de transporte. Esto, a su vez, da cuenta que aunque la ampliación de la red de TPM puede desincentivar el uso del automóvil privado, el mero aumento de la cobertura espacial tendrá un efecto reducido si esto no se acompaña de mejoras en los niveles de servicio. Esto se relaciona con los resultados de la variable *entidad de origen*, pues aunque la Ciudad de México presenta una mejor cobertura de estaciones de TPM, la probabilidad de que los viajes se realicen en auto aumenta cuando estos se originan en la capital del país. Al inicio de esta investigación se esperaba que las variables tpm_i y tpm_j fueran de las más relevantes.

3.6. Capacidades predictivas de los modelos como medida de bondad de ajuste

La bondad de ajuste de un modelo describe qué tan adecuadamente éste se ajusta a las observaciones indicando la discrepancia entre los valores observados (por ejemplo, si el viaje

se realizó o no en automóvil privado) y los valores esperados según el modelo estadístico (por ejemplo, si el modelo asigna una probabilidad igual o mayor a 0.5 de que el viaje será realizado en automóvil privado) (Maydeu-Olivares y García Ferrero, 2010, p. 190).

De acuerdo con Cabrer Borrás et al. la proporción de predicciones correctas puede fungir como una medida de bondad de ajuste de un modelo de regresión logística (Cabrer Borrás, 2016, p. 140).⁶²

La validación de probabilidades predichas sirve para evaluar la capacidad del modelo para predecir si un evento puede ocurrir dado un conjunto de valores en las variables independientes y por lo tanto permite establecer qué tan certero es en términos generales. El modelo realiza sus predicciones asignando una probabilidad de que Y sea igual a 1 a cada observación. Si esta probabilidad asignada es igual o mayor a 0.5, se considera que Y es igual a 1, es decir, para este caso el modelo predice que el viaje se realiza en automóvil privado. Por el contrario, si la probabilidad es menor a 0.5, se considera que Y es igual a 0, es decir, el modelo predice que el viaje se realiza en un modo de transporte diferente al automóvil.

Estas Y estimadas son comparadas con los eventos efectivamente observados y con base en eso se calculan los estadísticos de validación de probabilidades predichas. Para una mejor comprensión de estos estadísticos en cada explicación se hace referencia al cuadro 3.8, en el cual se presentan los insumos para la obtención de cada uno de los estadísticos de manera esquemática.

1. Sensibilidad: es la proporción de eventos correctamente predichos respecto al total de eventos observados, es decir, “es la capacidad del modelo para detectar como positivos los casos que poseen la característica [estudiada]” (Camarero Rioja *et al.*, p. 36). En este caso se refiere a la proporción de viajes realizados en automóvil a los que el modelo les asigna una probabilidad de realizarse en automóvil igual o mayor a 0.5 respecto a la totalidad de viajes realizados en

⁶² Aunque existen otras medidas de bondad de ajuste, como las pseudo-R cuadradas de McFadden o Cox y Snell, se optó por su utilizar a la capacidad predictiva del modelo debido a la facilidad de este indicador para transmitir qué tanta discrepancia existe entre los datos esperados y los observados. De hecho, Cabrer Borrás *et al.* le denominan “Pseudo R² de predicción” al porcentaje de observaciones correctamente clasificadas. Aquí se prefirió el último término debido a su mayor claridad.

automóvil. Con base en el cuadro 3.8, la sensibilidad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{a}{a+b}\right) * 100$$

2. Especificidad: es la proporción de no eventos correctamente predichos respecto al total de no eventos observados, es decir, es la capacidad que tiene el modelo para discriminar correctamente los casos que no poseen la característica estudiada (Camarero Rioja *et al.*, p. 36). En este caso, se trata de la proporción de los viajes no realizados en automóvil a los que el modelo les asigna una probabilidad de realizarse en automóvil menor a 0.5 respecto a la totalidad de viajes que efectivamente no fueron realizados en automóvil privado. Con base en el cuadro 3.8, la sensibilidad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{d}{c+d}\right) * 100$$

3. Valor predictivo positivo: es la proporción de eventos efectivamente observados respecto al total de eventos predichos. En este caso se refiere a la proporción de viajes realizados en automóvil respecto a la totalidad de viajes a los que el modelo les asigna una probabilidad de realizarse en automóvil igual o mayor a 0.5. Con base en el cuadro 3.8, la sensibilidad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{a}{a+c}\right) * 100$$

4. Valor predictivo negativo: es la proporción de no eventos efectivamente observados respecto al total de no eventos predichos. En este caso se trata de la proporción de viajes no realizados en automóvil a los que el modelo les asigna una probabilidad menor a 0.5 de ser realizados en automóvil respecto a la totalidad de viajes a los que el modelo les asigna una probabilidad menor a 0.5 de realizarse en automóvil. Con base en el cuadro 3.8, la sensibilidad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{d}{b+d}\right) * 100$$

5. Observaciones correctamente clasificadas: es la proporción de eventos y no eventos adecuadamente predichos respecto a la totalidad de las observaciones. En este caso se refiere a la proporción de viajes efectivamente realizados en automóvil a los que el modelo asigna una probabilidad de realizarse por dicho modo igual o mayor a 0.5 más los viajes no realizados en automóvil a los que el modelo asigna una probabilidad de realizarse por dicho modo inferior a 0.5 respecto a la totalidad de los viajes incluidos en el modelo. Con base en el cuadro 3.8 la sensibilidad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{a + d}{a + b + c + d} \right) * 100$$

Cuadro 3.8. Esquema de estadísticos de validación de probabilidades predichas

	Observación		
Predicción	Y=1	Y=0	Total
Pr (y >= 0.5)	a	c	a + c
Pr (y < 0.5)	b	d	b + d
Total	a + b	c + d	a + b + c + d

En cuanto a las capacidades predictivas de los modelos, es notorio que el 5 y el 6 (enfocados únicamente en mujeres) presentan el mayor porcentaje de observaciones clasificadas correctamente (alrededor de 74%). Los modelos 1 y 2 (población general) clasifican adecuadamente cerca de 69% de las observaciones, mientras que los modelos 3 y 4 (enfocados en hombres) son los que presentan un menor porcentaje de observaciones clasificadas correctamente (alrededor de 64%). Cabe destacar que los seis modelos tienen una mayor capacidad predictiva que un pronóstico realizado al azar.

Aunque los seis modelos principales tienen una capacidad predictiva menor que los dos modelos preliminares, cuyos indicadores de observaciones clasificadas correctamente ronda el 85%, esto obedece a que al incluirse en el análisis a los hogares que no tienen automóviles privados, los viajes originados en ellos evidentemente no serían realizados en dicho modo (Y=0) por lo que la predicción se hacía bastante directa en muchos casos. En

contraste, los seis modelos principales tienen una mayor sensibilidad que los modelos preliminares, es decir, cuentan con una mayor capacidad para clasificar adecuadamente aquellos viajes realizados en automóvil privado.

Si bien es un tanto arbitrario el establecer un umbral adecuado de qué es un buen modelo en términos de capacidad predictiva, Chauhan et al. en un estudio que analiza el cambio de modo de transporte de autobús y automóvil privado a metro en el cual también se utiliza una regresión logística, consideran que un modelo con un porcentaje de observaciones correctamente clasificadas de 69% es “bastante aceptable” (Chauhan et al., 2016, p. 131). Si se considera adecuado dicho umbral, cuatro de los modelos aquí presentados tienen un porcentaje de observaciones correctamente clasificadas igual o superior a 69%, mientras dos tienen un porcentaje ligeramente inferior. Con base en esta consideración es posible afirmar que los modelos aquí presentados son aceptables.

3.7. Comparación con estudios similares

Aunque en el marco conceptual del primer capítulo de esta investigación se presentaron los principales planteamientos teóricos y las conclusiones de los estudios de caso revisados, es pertinente dedicar un último apartado a cómo se comparan los resultados obtenidos aquí con otros estudios similares. Para ellos sólo se consideraron estudios realizados con una técnica similar (modelos de elección discreta) aplicados a la elección de modo de transporte para realizar viajes intraurbanos. Asimismo, tuvieron que descartarse estudios que utilizaron una técnica similar pero que consideraron otras variables independientes para la realización de su modelo.⁶³

En el caso de México se identificaron tres estudios comparables: la tesis de maestría de Javier Garduño que estudia a dos delegaciones centrales de la Ciudad de México, la tesis de maestría de López Lira que se enfoca en analizar los factores de uso del transporte público en la ZMCM y un artículo de Galán que estudia la Zona Metropolitana de Monterrey.

Los resultados de Garduño concuerdan con los obtenidos en esta investigación. Entre las principales semejanzas entre ambos estudios destacan las siguientes: (i) el número de

⁶³ Por ejemplo, un estudio realizado para la ciudad de Riga, Letonia es similar en metodología pero utiliza variables independientes como “la persona considera a la comodidad como una razón para escoger el autobús”, entre otras que no son comparables con el análisis aquí propuesto. (Véase Pavluyk y Gromule, 2010).

automóviles por hogar es la variable con el mayor peso relativo en el proceso de elección de modo de transporte, (ii) el ser de un estrato sociodemográfico más alto (nivel de ingreso en el caso del estudio de Garduño) y el ser hombre aumentan la probabilidad de uso del automóvil privado y (iii) la oferta de estaciones de TPM es un factor que reduce la probabilidad del uso del automóvil. La única divergencia en los resultados se presentó en lo referente a la distancia del viaje, pues Garduño reporta que no hay elementos suficientes para considerar que el efecto de esta variable sea importante para el uso del automóvil privado. En contraste, en los modelos donde dicha variable fue utilizada, se observó que el aumento de la distancia de recorrido ocasionaba un ligero incremento en la probabilidad de usar el automóvil, si bien éste era inferior al 1% dado un kilómetro más de distancia entre origen y destino (2013, 84-88 pp.).

La investigación de López Lira presenta un modelo de regresión logística cuyo objetivo es evaluar la propensión de un usuario a utilizar transporte público dadas ciertas características de su hogar. En ese sentido, para identificar conclusiones semejantes entre esa y la presente investigación se buscó observar resultados opuestos en las variables que se presentan en ambos trabajos.⁶⁴ Nuevamente se observaron numerosas coincidencias: (i) el aumento en el número de automóviles en el hogar desfavorece el uso del transporte público, (ii) el aumento de la escolaridad del jefe del hogar disminuye la propensión a usar transporte público a partir de nivel universitario (si bien la escolaridad técnica o normal aumenta la propensión a usar transporte público respecto a quienes sólo tienen educación básica), y (iii) los viajes de hogares ubicados en los municipios conurbados del Estado de México tienen mayor propensión a utilizar el transporte público que aquéllos de hogares ubicados en la Ciudad de México (López Lira, 2017, 69-73 pp.).

Aunque en apariencia podría pensarse que la cuestión del nivel de ingreso y el estrato socioeconómico son la principal divergencia entre las investigaciones, esto debe matizarse. López Lira referencia sus observaciones a una categoría base, a saber, el primer decil de ingreso (el más bajo). En consecuencia los resultados para los nueve deciles restantes indican el aumento a la propensión a usar transporte público respecto a ese primer decil. Del segundo al sexto decil la propensión a usar transporte público aumenta prácticamente de manera

⁶⁴ Por ejemplo, si López Lira obtiene que la variable x_1 favorece el uso del transporte público, se esperaría que en esta investigación esa misma variable x_1 desincentivara el uso del automóvil.

ininterrumpida. Posteriormente, del séptimo al décimo decil la propensión sigue siendo mayor que la del primer decil, pero con una tendencia hacia la baja respecto a los deciles anteriores. Esto sugiere que entre el segundo y sexto decil la propensión a usar el transporte público aumenta debido a que hay un mayor ingreso disponible, pero a partir del séptimo decil el ingreso permite una alternativa más de transporte. Aunque el estudio de López Lira no lo señala, es casi evidente que la alternativa en los cuatro deciles más altos es el automóvil privado. Sin embargo esta aseveración debe hacerse con cautela dado que los estudios tienen objetivos diferentes.

En cuanto al estudio de Galán para la ZMM, las variables independientes que se comparte con este estudio presentan el mismo comportamiento: (i) al incrementarse la escolaridad se incrementa la probabilidad del uso del automóvil, (ii) el ser hombre da mayor facilidad para acceder al auto familiar y (iii) los grupos de menor edad tienen más obstáculos para acceder al automóvil (2005, 498-499 pp.).

En suma, para el caso de las ciudades mexicanas se observa una fuerte consistencia en los estudios que utilizan modelos de elección discreta para analizar la selección de modo de transporte.

Fuera de México, un estudio comparativo de elección modal en Alemania y Estados Unidos identifica que en ambos países la cercanía a estaciones de transporte público reduce la probabilidad de usar automóvil, mientras que la probabilidad de usar un modo alternativo al automóvil (transporte público, bicicleta o caminar) disminuye con la disponibilidad de automóviles en el hogar (Buehler, 2011, 653-654 pp.).

Finalmente, un estudio realizado sobre elección modal en el Área Metropolitana de Filadelfia detectó que, a diferencia de lo observado en la ZMCM, las mujeres tienen mayor probabilidad de realizar sus desplazamientos en automóvil que los hombres (Wang y Ross, 2018, p. 43).⁶⁵

⁶⁵ En Estados Unidos se le conoce como “Valle del Delaware” (*Delaware Valley*) al Área Metropolitana de Filadelfia, por lo que si el lector busca el artículo de Wang y Ross notará que el área de estudio tiene esa denominación.

4. Conclusiones

Aunque en apariencia la elección de modo de transporte para la realización de un viaje parece un elemento más de la cotidianidad, desde una perspectiva agregada, estas decisiones tienen consecuencias tangibles respecto a la calidad de vida de los habitantes de las ciudades y el medio ambiente, tanto en el ámbito local, como en el global. Debido a que el uso del automóvil privado genera importantes costos en las esferas mencionadas, es pertinente investigar qué factores favorecen el que los habitantes de una ciudad los considere como la mejor opción para realizar un viaje.

El marco conceptual de De Witte *et al.* en el que se basa el desarrollo subsecuente de la investigación es una aportación teórica sumamente valiosa debido a que sistematiza la influencia los factores que inciden en la elección de modo de transporte y amalgama elementos cuantitativos (factores sociodemográficos, espaciales y de características del viaje) con los cualitativos (factores sociopsicológicos), ambos sumamente relevantes y que suelen analizarse de manera disociada. Este planteamiento teórico ha facilitado la construcción de un modelo que, abrevando de la EOD 2017, así como de información obtenida mediante procesos de sistemas de información geográfica, ha permitido realizar un acercamiento para conocer qué factores influyen en la elección de modo de transporte que realizan los habitantes de la ZMCM.

La revisión de los cambios en el reparto modal observado en el área estudiada da cuenta del crecimiento paulatino de la participación de los viajes realizados en automóvil privado. Asimismo, el análisis espacial de las tasas de motorización manifiesta un crecimiento importante en el ritmo de ingreso de vehículos al parque vehicular, con particular intensidad en los municipios conurbados del Estado de México. En contraste, la expansión de las redes de TPM, reflejan un importante rezago en la cobertura espacial de los municipios mexiquenses, que sólo hasta hace pocos años parece haber comenzado a reducirse. Por su parte, el análisis espacial de la proporción de viajes realizados en automóvil privado en las diversas zonas de la ciudad expresa que las zonas con mayor porcentaje de viajes en automóvil privado guardan una fuerte relación con las zonas consideradas como de clase media-alta y alta.

Una vez realizado el análisis de los resultados de las regresiones logísticas preliminares se obtuvo un hallazgo que motivó a refinar la investigación: el sexo de la

persona que realiza el viaje resultó ser el segundo factor más relevante para la elección del automóvil privado.

Tras la realización de seis regresiones logísticas adicionales, quedó de manifiesto lo que puede considerarse como uno de los hallazgos más relevantes de la investigación: la cobertura espacial del TPM es prácticamente irrelevante para la elección de modo de transporte en la ZMCM. Los datos sugieren que la cercanía a una estación de transporte masivo no tiene un papel determinante como desincentivo del uso del automóvil, al menos no a un nivel que realmente cuestione al decisor si realmente viajar en auto es la mejor decisión. De esta reflexión se deriva una recomendación de política pública: el aumento de la cobertura espacial del TPM tendrá un efecto limitado en la reducción del uso del automóvil si éste no se ve acompañado de mejoras en los niveles de servicio. Esto rechaza el planteamiento realizado en la hipótesis en donde se consideraba a esta variable como una de las que tendría mayor peso relativo en la elección de los individuos de la ZMCM.

En contraste, se confirmó que tanto el número de automóviles por hogar como el estrato sociodemográfico de éste eran de las variables con mayor peso relativo en la elección de modo de transporte.

Asimismo, la realización de regresiones logísticas para cada sexo ayudó a observar algunas diferencias en la toma de decisión de hombres y mujeres. En primer lugar destaca el impacto positivo en el uso del automóvil que tiene el propósito de ir a trabajar en el caso de las mujeres. En contraste, el propósito de ir a estudiar en el caso de los hombres reduce las probabilidades de que el viaje sea realizado en automóvil. Aunque tratar la movilidad como una cuestión de género escapa los alcances de esta investigación, los resultados apuntan a que éste es uno de los componentes que más influyen en la elección del automóvil privado. Un importante pendiente que se desprende de estos resultados es la exploración de los factores sociopsicológicos, particularmente en lo que hace a la percepción diferenciada que hombres y mujeres pueden tener respecto a los automóviles.

Finalmente, los modelos planteados en la investigación parecen ser un acercamiento metodológico adecuado, pues su capacidad de predicción puede ser considerada como aceptable.

5. Anexos

5.1. Anexo 1. Ejemplo del formato de los registros de Vehículos con Motor Registrados en Circulación realizado a nivel municipal.

 <p>INEGI INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA</p>	<p>VEHÍCULOS DE MOTOR REGISTRADOS EN CIRCULACIÓN</p> <p>CUESTIONARIO ANUAL</p> <p>Existencias del 1 de enero al 31 de diciembre del año 2015</p>	<p>EE-4-6 2016</p>
Entidad Federativa <input style="width: 150px;" type="text"/>	Municipio <input style="width: 150px;" type="text"/>	

CLASE DE VEHÍCULO Y TIPO DE SERVICIO QUE OFRECE	TOTAL DE EXISTENCIAS DEL AÑO 2014	CAUSARON ALTA EN EL 2015	CAUSARON BAJA EN EL 2015	TOTAL DE EXISTENCIAS DEL AÑO 2015
	1	2	3	1 + 2 - 3 = 4
AUTOMÓVILES	Oficiales			
	Públicos Estatal			
	Públicos Federal			
	Particulares			
	TOTAL			
CAMIONES PARA PASAJEROS (INCLUIR MICROBUSES)	Oficiales			
	Públicos Estatal			
	Públicos Federal			
	Particulares			
	TOTAL			
CAMIONES Y CAMIONETAS PARA CARGA	Oficiales			
	Públicos Estatal			
	Públicos Federal			
	Particulares			
	TOTAL			
MOTOCICLETAS	Oficiales			
	De alquiler			
	Particulares			
	TOTAL			
OTROS VEHÍCULOS DE MOTOR (ESPECIFICAR EN OBSERVACIONES A QUÉ CLASE CORRESPONDEN)	Oficiales			
	Públicos y/o de alquiler			
	Particulares			
	TOTAL			

5.2. Anexo 2. Cuadro con periodos de duplicación dada una TCMA

TCMA	Años necesarios para duplicación de la cantidad de autos observada en el año inicial	Categoría a la que pertenece la TCMA en la cartografía presentada
0%	Indefinido	Baja
1%	69.7	Baja
2%	35.0	Baja
3%	23.4	Media baja
4%	17.7	Media baja
5%	14.2	Media
6%	11.9	Media
7%	10.2	Media
8%	9.0	Media alta
9%	8.0	Media alta
10%	7.3	Alta
11%	6.6	Alta
12%	6.1	Alta
13%	5.7	Alta
14%	5.3	Alta
15%	5.0	Alta
16%	4.7	Alta
17%	4.4	Alta
18%	4.2	Alta
19%	4.0	Alta
20%	3.8	Alta
21%	3.6	Alta
22%	3.5	Alta
23%	3.3	Alta
24%	3.2	Alta
25%	3.1	Alta
26%	3.0	Alta
27%	2.9	Alta

Nota: el tiempo de duplicación se obtiene mediante la fórmula $\frac{\ln(2)}{\ln(1+TCMA)}$.

6. Bibliografía

- Adams, J. (2000). The Social Implications of Hypermobility: Speculations about the social consequences of the OECD Scenarios for Environmentally Sustainable Transport and Business-as-Usual Trend Projections. En OECD, *Project on Environmentally Sustainable Transport (EST)* (95-134 pp.), París: OECD.
- Adams, J. (2005). Hypermobility: a challenge to governance. En Lyall, C. y Tait, J. (Eds.), *New Modes of Governances: Developing an Integrated Policy Approach to Science, Technology, Risk and The Environment*. Aldershot: Ashgate Publishing.
- Anderson, D., Sweeney D., Williams, T. (2012). *Estadística para negocios y economía*. México D.F.: Cengage Learning.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80.
- Buehler, R. (2011). Determinants of transport mode choice: a comparison of Germany and the USA. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 644-657.
- Bull, A. (2003). *Congestión de tránsito: El problema y cómo enfrentarlo*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Cabrer Borrás, B., Sancho Pérez, A., Serrano Domingo, G. (2001). *Microeconometría y decisión*. Madrid: Ediciones Pirámide.
- Camarero Rioja, L., Almazán Llorente, A., Mañas Ramírez, B. (s/f). *Regresión Logística: Fundamentos y aplicación de la investigación sociológica*. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Carrillo Barradas, J. L. (2009), La inmovilidad de la movilidad de México: el caso de la Ciudad de Xalapa. *Cuadernos de investigación urbanística*, (64), 1-69 pp.
- Cendrero Agenjo, B. y Truyols Mateu, S. (2015). *El transporte: Aspectos y tipología*. Madrid: Grupo Vanchri.
- Chauhan, V., Suman, H.K, y Bolia, N.B. (2016). Binary Logistic Model for Estimation of Mode Shift into Delhi Metro. *The Open Transportation Journal*. 10, 124-136.
- Clark, C. (1958). Transport: Maker and Breaker of Cities. *Source: The Town Planning Review*, 28(4), 237–250.
- Coca Perrailon, M. (2019) *Week 13: Interpreting Model Results: Marginal Effects and the Margins Command*. Denver: Univeristy of Colorado. Recuperado de <http://www.ucdenver.edu/academics/colleges/PublicHealth/resourcesfor/Faculty/perrailon/perrailonteaching/Documents/week%2013%20margins.pdf>.

- Comisión Ambiental Metropolitana (1999). *Inventario de emisiones a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 1996*. México D.F. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-1996/#p=1>
- Comisión Metropolitana de Asentamientos Humanos (1998). *Programa de Ordenación de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Recuperado de <http://www.vcarranza.cdmx.gob.mx/normateca/OTROSDOCUMENTOSNORMATIVOS/POZM.pdf>
- De Witte, A. *et al.* (2013). Linking modal choice to motility: A comprehensive review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, 329-341.
- EPA. (s/f). Health Effects of Ozone Pollution. EPA. Recuperado de <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution>
- Espinosa López, E. *Ciudad de México: Compendio cronológico de su desarrollo urbano (1521-2000)*. México D.F. Instituto Politécnico Nacional.
- Flamm, M., y Kaufmann, V. (2006). Operationalising the concept of motility: A qualitative study. *Mobilities*, 1(2), 167–189.
- Galán González, J.R. (2005). Determinantes de la demanda por transporte público y privado en el Área Metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*. 7 (4), 495-501.
- Galindo, L., Heres, D., & Sánchez, L. (2006). Tráfico inducido en México: Contribuciones al debate e implicaciones de política pública. *Estudios Demográficos Y Urbanos*, 21(1 (61), 123-157.
- Garduño Arredondo, O. J. (2013). *Dependencia del automóvil y fragmentación del espacio: un estudio comparativo del uso del auto en la zona central de la Ciudad de México y de la Ciudad de Montreal*. (Tesis inédita de maestría en Estudios Urbanos). El Colegio de México, Ciudad de México.
- GDF. (s/f) *Inventario de emisiones a la atmósfera: Zona Metropolitana del Valle de México 2000*. México D.F.: GDF. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm2000/#p=1>
- GDF. (s/f). *Inventario de emisiones 2004: Zona Metropolitana del Valle de México*. México D.F.: GDF. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-criterio2004/#p=1>
- GDF. (s/f). *Inventario de emisiones a la atmósfera: Zona Metropolitana del Valle de México 2002*. México D.F.: GDF. Recuperado de

<http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm2002/#p=1>

- Guerra, E., Cervero, R., & Tischler, D. (2011). *The Half-Mile Circle: Does It Best Represent Transit Station Catchments?*. Earlier Faculty Research, Berkeley: UC Berkeley.
- Hamilton, K. y Jenkins, L. (1989). Why women and travel? En M. Grieco, L. Pickup and R. Whipp (Eds.), *Gender, Transport and Employment* (pp. 17-45). Vermont.
- Hollis, G.E. (1988). Rain, Roads, Roofs and Runoff: Hydrology in Cities. *Geography*, 73(1), 9-18.
- INEGI, Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México. (2007). *Encuesta 2007 Origen-Destino*. México D.F. Recuperado de http://bicitekas.org/wp/wp-content/uploads/2013/07/2007_Encuesta_Origen_Destino_INEGI.pdf
- INEGI. (2016). *Síntesis metodológica de la Estadística de vehículos de motor registrados en circulación*. Aguascalientes: INEGI. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825086084.pdf
- INEGI. (2018.a). *Encuesta Origen-Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México de 2017 EOD: Documento metodológico*. Aguascalientes: INEGI. Recuperado de http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/programas/eod/2017/doc/metodologia_eod_2017.pdf
- INEGI. (2018.b). *Encuesta Origen-Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México de 2017 EOD: Diseño conceptual*. Aguascalientes: INEGI. Recuperado de http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/programas/eod/2017/doc/conceptual_eod_2017.pdf
- INEGI. (2018.c). *Encuesta Origen-Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México de 2017: datos abiertos*. Aguascalientes: INEGI. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/programas/eod/2017/>
- INEGI. (2018.d). *Comunicación de prensa núm 104/18*. Recuperado de http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/EstSociodemo/OrigenDest2018_02.pdf
- Instituto de Investigaciones Parlamentarias (s/f). *Diagnóstico de movilidad en la Ciudad en México: El impacto del crecimiento vehicular (problemas, estadísticas y evaluación de políticas)*. ALDF. Recuperado de <http://www.aldf.gob.mx/archivo-9f6f5328e0f0853d4453d481cbffa2b6.pdf>
- Islas Rivera, V. (2000), *Llegando tarde al compromiso: La crisis del transporte en la Ciudad de México*, México D.F.: El Colegio de México.

- Islas Rivera, V. y Lelis Zaragoza, M. (2007). *Análisis de los sistemas de transporte Vol 1: conceptos básicos*. Instituto Mexicano del Transporte: Sanfandila.
- ITDP. (s/f). TOD Standard. Nueva York: ITDP.
- Joly, M., Morency, C., & Bonnel, P. (2009). Motorisation et localisation : quels effets sur le choix modal? *Les Cahiers Scientifiques Du Transport*, (55), 97–125.
- Kaufmann, V. (2000). *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines : La question du report modal*. Lausana: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Kaufmann, V., Joye, D., y Bergman, M. M. (2004). Motility: Mobility as Capital. *International Journal of Urban and Regional Research*, 28(4), 745–756.
- Kenworthy, J. R., & Laube, F. B. (1996). Automobile dependence in cities: An international comparison of urban transport and land use patterns with implications for sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 16(4–6), 279–308.
- Legorreta, J. (1995). *Transporte y contaminación en la Ciudad de México*. México D.F.: Centro de Ecología y Desarrollo.
- Liceth, C., Hoyos, F., & Mauricio Gómez Sánchez, A. (2015). Análisis de la elección modal de transporte público y privado en la ciudad de Popayán. *Territorios 33 / Bogotá*, 157–190.
- Limtanakool, N. Dijst, M., Schwanen, T. (2006). The influence of socioeconomic characteristics, land use and travel time considerations on mode choice for medium and longer-distance trips. *Journal of Transport Geography*. 14. 327-241.
- Litman, T. (2012). *Gestión de la movilidad para México. Beneficios para su desarrollo económico*. México: ITDP México.
- Litman, T., y Laube, F. (2002). *Automobile Dependency and Economic Development*. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.
- Litman, T. (2007). *Win-Win Transportation Solutions: Cooperation for Economic, Social and Environmental Benefits*. Victoria: Victoria Transportation Policy Institute.
- Lopez Lira Bayod, D. *Condiciones del uso del transporte público en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. (Tesis de maestría inédita). El Colegio de México, Ciudad de México.
- Maydeu-Olivares, A. y García-Forero, C. (2010). Goodness-of-Fit Testing. *International Encyclopedia of Education*, 7, 190-196.
- Muller, P.O. (2004). Transportation and Urban Form. En S. Hanson y G. Giuliano (eds.), *The Geography of Urban Transportation* (pp. 59-85). Nueva York: The Guilford Press.

- Navarro, B. (1988) *El traslado Masivo de la Fuerza de Trabajo en la Ciudad de México*. México D.F.: Plaza y Valdés editores.
- Negrete Salas, M.E. (2008). Las avenidas Insurgentes y Ermita Iztapalapa en el contexto de la movilidad metropolitana. En C.E. Salazar y J.L. Leazama (Coords.), *Construir Ciudad: Un análisis para los corredores de transporte en la Ciudad de México* (pp. 293-351). México D.F.: El Colegio de México.
- Newman, P. y Kenworthy, J. (1999). *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*, Washington D.C.: Island Press.
- O'Sullivan, A. (2012). *Urban Economics*. Nueva York: McGraw-Hill.
- ONU México (s/f). *Metas de los objetivos de desarrollo sostenible*. Recuperado de http://www.onu.org.mx/wp-content/uploads/2017/07/180131_ODS-metas-digital.pdf
- Ortúzar, J. D. y Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Pavlyuk, D. y Gromule V.(2010, octubre), *Discrete Choice Model for a Preferred Transportation Mode*. Presentado en la 10ª Conferencia Internacional “*Reliability and Statistics in Transportation and Communication*” (Letonia), Riga, (pp. 143-151): Transport and Telecommunication Institute.
- Peng, C.J., Lee, K.L., Ingersoll, G.M. (2002). An introduction to Logistic Regression Analysis and Reporting. *Journal of Educational Research*. 96(1), 3-14.
- Poliquin, É. (2012). *Mieux comprendre les déterminants du choix modal*. (Tesis inédita de maestría en Ciencias Aplicadas). Université de Montréal, Montreal.
- Rietveld, P. (2000). Non-motorised modes in transport systems: a multimodal chain perspective for The Netherlands. *Transportation Research Part D* 5, 31–36.
- Rocha Baños, S.B. (1996) *Análisis de la reacción social ante la implementación de una política pública: proyecto del tren eléctrico elevado de la zona Metropolitana de la Ciudad de México*. (Tesis inédita de Licenciatura en Ciencias Políticas y Administración Pública). Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, Naucalpan.
- Romero, H. M. (1987). *Historia del Transporte en la Ciudad de México: De la trajinera al metro*. México D.F.: Secretaría General de Desarrollo Social del Departamento del Distrito Federal.
- Schiller P.L., Bruun, E. C. y Kenworthy, J.R. (2010). *An Introduction to Sustainable Transportation: Policy, Planning and Implementation*. London: Earthscan.

- SEDEMA. (2008). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2006*. México D.F.: GDF. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-gei2006/#p=1>
- SEDEMA. (2012). *Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México: Gases de efecto invernadero y carbono negro 2010*. México D.F.: GDF. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-gei2010/#p=1>
- SEDEMA. (2013). *Inventario de emisiones contaminantes y de efecto invernadero 2012: Zona Metropolitana del Valle de México*. México D.F.: GDF. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/carbonn-registro-gei2012/#p=1>
- SEDEMA. (2016). *Inventario de emisiones de la CDMX 2014: contaminantes criterio, tóxicos y de efecto invernadero*. México D.F.: Gobierno de la Ciudad de México. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx2014-2/mobile/index.html#p=1>
- SEDEMA. (2018). *Inventario de emisiones de la Ciudad de México 2016: contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero*. GCDMX. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-2016/mobile/>
- SIMBAD de INEGI. *Vehículos registrados con motor*. Recuperado de <http://sc.inegi.org.mx/cobdem/filtroContenidosServlet>
- Thomson, I. y Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Van Acker, V., Van Wee, B., y Witlox, F. (2010). When Transport Geography Meets Social Psychology: Toward a Conceptual Model of Travel Behaviour. *Transport Reviews*, 30(2), 219–240.
- Van der Zee, R. (5 de mayo de 2015). How Amsterdam became the bicycle capital of the world. *The Guardian*. Recuperado de <https://www.theguardian.com/cities/2015/may/05/amsterdam-bicycle-capital-world-transport-cycling-kindermoord>
- Wang, F. y Ross, C. L. (2018). Machine Learning Travel Mode Choices: Comparing the Performance of an Extreme Gradient Boosting Model with a Multinomial Logit Model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 47, 35-45.

Waygood, O., Avineri, E. y Lyons, G. (2012). The Role of Information in Reducing the Impacts of Climate Change for Transport Applications. En T. Ryley y Lee Chapman (eds.), *Transport and climate change* (pp. 313-340). Reino Unido: Emerald Group Publishing.