



Fecha		
DD	MM	AAAA
14	04	2021

1. Presentación del trabajo (trabajo de grado, investigación o tesis).					
Código	Documento de Identidad		Apellidos	Nombres	Correo electrónico
	Tipo	número			
0431420001	CC	1143391277	TROCHA GUZMÁN	DAIRO ARMANDO	dtrochag@unicartagena.edu.co
0431410049	CC	1143382674	SÁNCHEZ GÓMEZ	JUAN CAMILO	jsanchezg@unicartagena.edu.co

Programa	ECONOMÍA
Facultad	CIENCIAS ECONÓMICAS
Título al que opta	ECONOMISTA
Asesor	ÁLVARO ANDRÉS ESCOBAR ESPINOZA

Título de la obra: ANÁLISIS DE LA ELECCIÓN MODAL EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

Palabras claves (materias): logit multinomial; elección modal; demanda de transporte; efectos marginales; teoría de la elección; economía del transporte

2. Autorización de publicación de versión electrónica del trabajo (trabajo de grado, investigación o tesis).

Con esta autorización hago entrega del trabajo de grado (investigación o tesis) y de sus anexos (si existen), de forma gratuita en forma digital o electrónica (CD-ROM, DVD) y doy plena autorización a la Universidad de Cartagena, de forma indefinida, para que en los terminos establecidos en la ley 23 de 1982, la Ley 44 de 1993, leyes y jurisprudencia vigente al respecto, haga la publicación de éste, con fines educativos. Esta autorización, es válida sobre la obra en formato o soporte material, digital, electrónico o virtual, para usos en red, internet, intranet, biblioteca digital o cualquier formato conocido o por conocer.

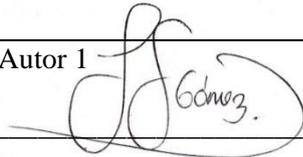
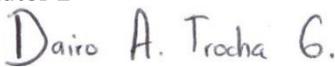
EL AUTOR, expresa que el trabajo de grado (investigación o tesis) objeto de la presente autorización, es original y la elaboró sin quebrantar ni suplantar los derechos de autor de terceros, de tal forma que el Trabajo es de su exclusiva autoría y tiene la titularidad sobre éste. En caso de queja o acción por parte de un tercero referente a los derechos de autor sobre el trabajo de grado en cuestión EL AUTOR, asumirá la responsabilidad total, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad de Cartagena actúa como un tercero de buena fe.

Toda persona que consulte ya sea la biblioteca o en medio electrónico podrá copiar apartes del texto **citando** siempre la fuentes, es decir el título del trabajo, autor y año.

Esta autorización no implica renunciar a la facultad que tengo de publicar total o parcialmente la obra. La autorización debe estar respaldada por las firmas de todos los autores del trabajo de grado.

Si autorizo

3. Firma

Firma Autor 1 	Firma Autor 2 
Firma Autor 3	Firma Autor 4

Resumen

Este trabajo de grado realiza un análisis de la elección del modo de transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) a partir de los datos recogidos por la Encuesta Origen-Destino en el año 2017. Se describen las características socioeconómicas, la dinámica del transporte en el AMVA y se examinan los factores que condicionan la elección modal por medio de la estimación de un modelo logit multinomial (MLM). Los modos objeto de estudio son auto particular, moto, taxi, bus, Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA), el metro, la bicicleta y a pie. Se concluye que los factores tiempo promedio de desplazamiento, edad, género, nivel de escolaridad, ingreso por estatus del hogar y la tenencia de vehículo motorizado determinan la demanda por transporte. Queda en evidencia que tener uno o más vehículos motorizados en el hogar, tiene un efecto positivo sobre los viajes en auto y moto. Sin embargo, existe una desutilidad en el uso del auto y la moto cuando aumenta el tiempo promedio de desplazamiento, y se prefieren los modos de transporte masivos (metro y SITVA).

Palabras claves: logit multinomial; elección modal; demanda de transporte; efectos marginales; teoría de la elección; economía del transporte.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
 FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
 PROGRAMA DE ECONOMÍA



REMISIÓN TRABAJO DE GRADO

FECHA : Cartagena de Indias, 20 de febrero de 2021.
 DE : COMITÉ DE GRADUACIÓN
 PARA : Doctor(es):
 1. ROBINSON CASTRO ÁVILA
 2. JORGE A. VÉLEZ ZÁRATE
 ASUNTO : REMISIÓN PROYECTO DE GRADO.

Cordial saludo:

Para su consideración y estudio remito a usted(es) proyecto de Grado titulado: "ANÁLISIS DE LA ELECCIÓN MODAL DE TRANSPORTE EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, COLOMBIA".

AUTOR(ES) : JUAN CAMILO SÁNCHEZ GÓMEZ
 DAIRO ARMANDO TROCHA GUZMÁN

ASESOR(ES): ÁLVARO ANDRÉS ESCOBAR ESPINOZA

Sírvase remitir el concepto respectivo marcando con una **X** los términos de:

APROBADO	<input type="checkbox"/>	NO APROBADO	<input type="checkbox"/>
AFLAZADA	<input type="checkbox"/>	MERITORIA	<input checked="" type="checkbox"/>

Atentamente,

RD - DMT - 2021 - 025.

DENNYS MARRUGO TORRENTE
 Directora - Programa de Economía

Recibe Evaluadores:

1. ROBINSON CASTRO AVILA

FIRMAS - FECHA
 09-04-2021

P.D: El plazo máximo para la entrega de este concepto es hasta el 20 de marzo de 2021.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
PROGRAMA DE ECONOMÍA



REMISIÓN TRABAJO DE GRADO

FECHA : Cartagena de Indias, 20 de febrero de 2021.

DE : COMITÉ DE GRADUACIÓN

PARA : Doctor(es):
3. ROBINSON CASTRO ÁVILA
4. JORGE A. VÉLEZ ZÁRATE

ASUNTO : REMISIÓN PROYECTO DE GRADO.

Cordial saludo:

Para su consideración y estudio remito a usted(es) proyecto de Grado titulado:
"ANÁLISIS DE LA ELECCIÓN MODAL DE TRANSPORTE EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, COLOMBIA".

AUTOR(ES) : JUAN CAMILO SÁNCHEZ GÓMEZ
DAIRO ARMANDO TROCHA GUZMÁN

ASESOR(ES): ÁLVARO ANDRÉS ESCOBAR ESPINOZA

Sírvase remitir el concepto respectivo marcando con una **X** los términos de:

APROBADO

NO APROBADO

APLAZADA

MERITORIA

Atentamente,

RD – DMT – 2021 – 025.
DENNY MARRUGO TORRENTE
Directora - Programa de Economía

Recibe Evaluadores:

FIRMAS – FECHA

2. JORGE A. VÉLEZ ZÁRATE

P.D: El plazo máximo para la entrega de este concepto es hasta el 20 de marzo de 2021.

Cartagena de indias D. T. y C. 5 de abril de 2021

Señores
COMITÉ DE GRADUACIÓN
Programa de Economía
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de Cartagena
Ciudad. –

Asunto: **PRESENTACIÓN DE PROYECTO DE GRADO**

Cordial Saludo.

Por medio de la presente, me permito presentar ante ustedes el trabajo de grado titulado **"ANÁLISIS DE LA ELECCIÓN MODAL DE TRANSPORTE EN EL AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, COLOMBIA"**, elaborado por los egresados no graduados **JUAN CAMILO SANCHEZ GOMEZ** y **DAIRO ARMANDO TROCHA GUZMÁN** identificados con los códigos 0431410049 y 0431420001 respectivamente, el cual les permitirá obtener el título de Economista.

Atentamente,

RD00215
ANDRÉS ESCOBAR, PhD
Docente
Programa de Economía
Facultad de Ciencias Económicas

<https://serviciosdigitales.sistemasudec.com/index.php/secretaria-general/verificar-firma>
CÓDIGO 0158abf898b60b1e5fbd1e4d5729222baacf284e

Cartagena de indias D T y C 5 de abril de 2021

Señores

COMITÉ DE GRADUACIÓN

Programa de Economía

Universidad de Cartagena

Ciudad. -

E.S.D

Asunto: **PRESENTACIÓN DE PROYECTO DE GRADO**

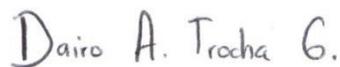
Cordial saludo,

Por medio de la presente, se hace entrega formal del proyecto de trabajo de grado titulado **“ANÁLISIS DE LA ELECCIÓN MODAL DE TRANSPORTE EN EL AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, COLOMBIA”**, el cual se elaboró bajo la asesoría del **PhD. ÁLVARO ANDRÉS ESCOBAR ESPINOZA**, con el fin de obtener el título de economistas.

Cordialmente,



JUAN CAMILO SÁNCHEZ GÓMEZ
CC. 1143382674 de Cartagena
COD.0431410049



DAIRO ARMANDO TROCHA GUZMÁN
CC. 1143391277 de Cartagena
CÓD. 0431420001

**Análisis de la elección modal de transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá,
Colombia**



Juan Camilo Sánchez Gómez

Dairo Armando Trocha Guzmán

Proyecto de grado para optar al título de economista

Asesor:

Andrés Escobar Espinoza, Phd

Universidad de Cartagena

Facultad de Ciencias Económicas

Programa de Economía

Cartagena de Indias

2021

Agradecimientos

Primero a Dios. A nuestros familiares, que nos han apoyado en todo momento para poder realizar esforzadamente cada una de las etapas de este trabajo, que ha supuesto para nosotros un gran reto, pero también una gran satisfacción.

A nuestro asesor Andrés Escobar, por sus comentarios y sugerencias acertadas, que permitieron darle una mejor forma al trabajo y un mejor enfoque a cada una de nuestras ideas.

A los funcionarios del gobierno del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, quiénes amablemente nos suministraron aquellos insumos necesarios para proseguir con nuestra investigación.

A todos aquellos amigos que nos han brindado sus apreciaciones, sugerencias y amistad a lo largo de nuestra formación como economistas.

A la vida, por permitirnos ser amigos y compañeros de trabajo hasta el final de nuestra formación.

Queremos finalmente, hacer una dedicatoria al profesor y director del programa de economía José Ángel Villalba (Q.E.P.D) quién nos ayudó en distintas etapas del proceso de trabajo de grado.

Sinceramente,

Dairo Armando Trocha Guzmán

Juan Camilo Sánchez Gómez

Resumen

Este trabajo de grado realiza un análisis de la elección del modo de transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) a partir de los datos recogidos por la Encuesta Origen-Destino en el año 2017. Se describen las características socioeconómicas, la dinámica del transporte en el AMVA y se examinan los factores que condicionan la elección modal por medio de la estimación de un modelo logit multinomial (MLM). Los modos objeto de estudio son auto particular, moto, taxi, bus, Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA), el metro, la bicicleta y a pie. Se concluye que los factores tiempo promedio de desplazamiento, edad, género, nivel de escolaridad, ingreso por estatus del hogar y la tenencia de vehículo motorizado determinan la demanda por transporte. Queda en evidencia que tener uno o más vehículos motorizados en el hogar, tiene un efecto positivo sobre los viajes en auto y moto. Sin embargo, existe una desutilidad en el uso del auto y la moto cuando aumenta el tiempo promedio de desplazamiento, y se prefieren los modos de transporte masivos (metro y SITVA).

Palabras claves: logit multinomial; elección modal; demanda de transporte; efectos marginales; teoría de la elección; economía del transporte.

Abstract

This thesis realizes an analysis of the modal choice of transportation in the Area Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) using the data of the Encuesta Origen Destino 2017. The work also describes socioeconomic characteristics, the AMVA transportation dynamics and examine the conditional factors of the modal choice through an estimation of a multinomial logit model. The focuses modes are car, motorcycle, taxi, bus, Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA), metro, bicycle and by foot. It is concluded that the factors average travel time, age, gender, school level, household status income and motor vehicle tenure determine transportation demand. Having one or more motor vehicles in the home has a positive effect on car and motorbike travel. However, there is a futility in using of the car and motorbike when average travel time increases, and mass transport modes (meter and SITVA).

Keywords: multinomial logit model; modal choice; demand of transportation; marginal effects; choice theory; transport economics

Tabla de contenido

0.....Análisis de la elección modal de transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia.....	9
0.1. Planteamiento del problema.....	9
0.1.1. Descripción del problema.....	9
0.1.2. Formulación del problema.....	11
0.2. Justificación.....	11
0.2.1. Contribución académica.....	12
0.2.2. Contribución científica.....	12
0.2.3. Contribución social.....	12
0.2.4. Contribución a la política pública.....	13
0.3. Objetivos.....	14
0.3.1. Objetivo general.....	14
0.3.2. Objetivos específicos.....	14
0.4. Marco referencial.....	14
0.4.1. Estado del arte.....	14
0.4.2. Marco teórico.....	19
0.5. Diseño metodológico.....	24
0.5.1. Método/enfoque de investigación.....	24
0.5.2. Delimitación del estudio.....	25
0.5.3. Datos.....	25
0.5.4. Herramientas de procesamiento de información.....	27
0.5.5. Métodos econométricos para el estudio empírico.....	27
0.5.6. Variables y relaciones esperadas.....	29
1. Características socioeconómicas y dinámica del transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA).....	31
1.1. Datos del contexto sociodemográfico y económico del AMVA.....	31
1.2. Transporte Urbano en Área Metropolitana del Valle de Aburrá: enfoque de movilidad sostenible e integrada.....	39
1.2.1. Movilidad Sostenible.....	41

1.2.2	Movilidad Integrada.....	42
1.2.3	Caracterización del Transporte Público en el AMVA	43
2.	Factores que condicionan la elección de los modos de transporte en el AMVA.	48
2.1	¿Qué muestran los datos de la Encuesta Origen Destino?	48
2.1.1	Hogares	48
2.1.2	Habitantes	51
2.1.3	Viajes	54
3.	Relaciones cuantitativas entre los factores analizados, los modos de transporte y sus efectos sobre la demanda de transporte en el AMVA.....	69
3.1	Modelo Logit Multinomial.....	69
3.2	Método de la Máxima Verosimilitud	70
3.3	Pruebas de contraste y validación hipótesis	71
3.3.1	Razón de Contraste de Verosimilitud.....	72
3.3.2	Pseudo-R2 de McFadden.....	72
3.3.3	Coefficiente de correlación de Spearman	73
3.3.4	Prueba de independencia de alternativas irrelevantes (IIA)	73
3.4	Datos del modelo.....	74
3.5	Estadísticas descriptivas de los datos	75
3.6	Modelo	80
3.6.1	Relative Risk Ratio (RRR).....	89
3.6.2	Efectos marginales	90
4.	Conclusiones y recomendaciones	101
5.	Referencias bibliográficas.....	104
6.	Anexos.....	107

Lista de tablas

Tabla 1	Variable dependiente	29
Tabla 2	Variables independientes	30

Tabla 3 Número de habitantes por municipios del AMVA año 2017 y porcentaje de suelo urbano según POT municipales.	33
Tabla 4 Hogares encuestados por la EOD en el AMVA según municipios	49
Tabla 5. Hogares encuestados por la EOD en el AMVA según ingresos.	50
Tabla 6 Hogares encuestados por la EOD en el AMVA según ingresos y estratos.....	51
Tabla 7 Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según rangos de edad	52
Tabla 8 Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según género.....	52
Tabla 9 Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según nivel de escolaridad	53
Tabla 10 Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según situación de empleo	54
Tabla 11 Personas encuestadas por la EOD en el AMVA que son estudiantes.....	54
Tabla 12 Principales hallazgos en los viajes del AMVA según las EOD 2005, 2012 y 2017	56
Tabla 13 Datos para el modelo y Estadísticas descriptivas (AMVA)	76
Tabla 14 Número y porcentaje de personas en la base que utilizan los modos de transporte considerados.....	77
Tabla 15 Frecuencias y porcentajes de las variables categóricas del modelo.....	78
Tabla 16 Porcentaje de personas por género según modo de transporte	79
Tabla 17 Tiempo promedio de viaje según modo de transporte	80
Tabla 18 Test de contraste de la razón de Verosimilitud para la primera estimación.	83
Tabla 19 Test LR y Criterio de Información de Akaike para contrastar el modelo restringido vs modelo completo.....	84
Tabla 20 Test de contraste de Wald para la primera estimación	85
Tabla 21 Coeficiente de Correlación de Spearman para estimaciones principales. Correlación entre variable tiempo promedio de viaje y edad.	86
Tabla 22 Test de Hausman del supuesto IIA para la primera estimación.....	87
Tabla 23 Test de Small-Hsiao del supuesto IIA para la primera estimación.....	88
Tabla 24 Matriz de confusión para la variable dependiente real vs la estimada.....	99

Lista de figuras

Figura 1. Mecanismo de transmisión del ingreso y la motorización	11
Figura 2 Municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá(AMVA).	32
Figura 3 Porcentaje de empresas en Antioquia registradas en la Cámara de Comercio de Medellín según sector.....	34
Figura 4 Empresas en la ciudad de Medellín según comunas	35
Figura 5 Ingreso per cápita de la unidad de gasto en Medellín A.M, 2010-2017 (pesos de 2017)	36

Figura 6 AMVA según estratos socioeconómicos por zonas del Sistema Integrado de Transporte.	37
Figura 7 Parque automotor privado en el Valle de Aburrá, 2010-2017.	38
Figura 8 Logo del SITVA.	43
Figura 9 Empresas que prestan el subsistema de Transporte Público Colectivo de Pasajeros por cuencas.	45
Figura 10 Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según sector laboral	53
Figura 11 Tasa de viajes diarios por persona y porcentaje de personas que viajan	56
Figura 12 Partición modal en el AMVA según la EOD 2017	58
Figura 13 Partición modal en el AMVA.	59
Figura 14 Porcentaje de viajes en el AMVA según el motivo de viaje	59
Figura 15 Porcentaje de orígenes de viajes del total según comunas de Medellín y municipios del AMVA	60
Figura 16 Porcentaje de destinos de viajes del total según comunas de Medellín y municipios del AMVA	61
Figura 17 Porcentaje de viajes en auto particular según comunas de Medellín y municipios de origen en el AMVA.	62
Figura 18 Porcentaje de viajes en auto particular según comunas de Medellín y municipios de destino en el AMVA.	63
Figura 19 Porcentaje de tenencia de vehículos motorizados y estratos socioeconómicos por zonas SIT en el AMVA.	64
Figura 20 Distribución total de viajes en Medellín y en el AMVA (Sin Medellín) por rango horario.	66
Figura 21 Distribución total de viajes según motivo de viaje por rango horario en el AMVA	67
Figura 22 Distribución de los viajes por tipo de vehículo (motorizados y no motorizados) por rango horario en el AMVA.	68
Figura 23 Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto al tiempo promedio de desplazamiento.	92
Figura 24 Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto a la edad	93
Figura 25 Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto al nivel máximo de escolaridad	94
Figura 26 Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto al ingreso del hogar	95
Figura 27 Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto a la tenencia de vehículos motorizados en el hogar.	96

0. Análisis de la elección modal de transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia

0.1. Planteamiento del problema

0.1.1. Descripción del problema.

La movilidad urbana representa uno de los grandes retos a largo plazo para hacer sustentables a las ciudades contemporáneas. En Latinoamérica el nivel creciente de urbanización y la mayor productividad asociada al proceso de aglomeración económica, han inducido una mayor demanda de vehículos por parte de los hogares y de los negocios (Medina y Vélez, 2011).

Para el caso de Argentina, en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), se puede observar en los últimos años un gran crecimiento en la congestión de la red de transporte, provocado principalmente por el proceso de motorización y el mayor peso que tiene ahora el AMBA como atractor y generador de viajes (Dhau et al., 2017). Algo similar ocurrió en la ciudad de Cuzco, Perú, donde a la par del crecimiento económico elevado entre 2001 y 2015, se incrementó en un 300% el parque automotor (Mejía y Presa, 2018).

En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), en Colombia, que es el caso de estudio para esta investigación, la situación no ha sido distinta. La tasa de motorización y el parque automotor han mantenido entre 2005 y 2017 un comportamiento creciente. Lo anterior genera aumentos en la contaminación del aire, la congestión vial, la accidentalidad y un deterioro acelerado de la infraestructura vial. La congestión vial provoca aumentos en los tiempos promedios de desplazamiento para un mismo recorrido; en el AMVA pasaron de 25 minutos en 2005 a 36 minutos en 2017 (Medellín Cómo Vamos, 2018). Por su parte, la contaminación y la accidentalidad vial son problemas de salud pública que afectan directamente la calidad de vida

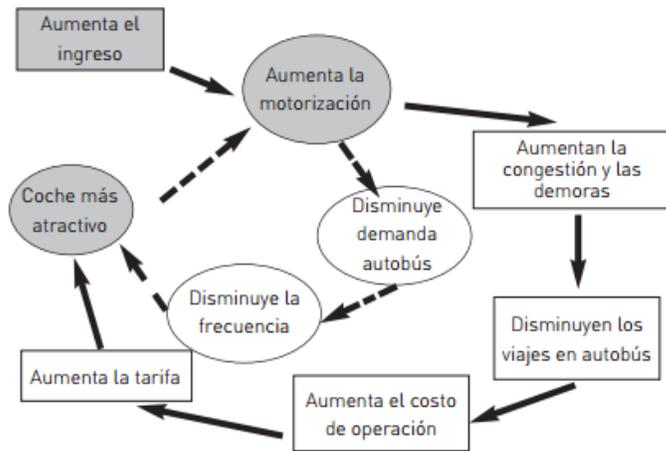
de la toda población, y el deterioro de la infraestructura vial implica gastos más frecuentes en su mantenimiento.

Por otra parte, la Encuesta Origen-Destino muestra una reducción en los viajes en carro, ya que pasaron del 15% del total de viajes realizados en 2012 al 13% en 2017. A pesar de esto, en 2018 entraron a circular un total de 81.807 nuevos carros y motos en el AMVA situación que de no hacerse nada, empeora la problemática de congestión vial. Si bien, se han tomado diferentes políticas en materia de movilidad urbana, no se consigue tener un sistema totalmente eficiente, rápido y eficaz, que esté soportado en un modelo de desarrollo sustentable, a pesar de que los viajes no motorizados ascienden al 28% del total de viajes, frente a un 72% de viajes motorizados.

Lo anterior pone de manifiesto la importancia de la renta, una de las características socioeconómicas de los individuos que está especialmente ligada al incremento de la motorización. Según Ortuzar (2012, pp 21.) cuando se da un aumento de la renta, es muy probable que los individuos demanden vehículos particulares; sin embargo, este aumento puede generar en simultáneo mayor congestión y demoras en los desplazamientos, lo que tendría una implicación directa sobre el uso del transporte público, que ve disminuido su uso. Esto genera mayores costos en su operación y un aumento en la tarifa, lo que termina haciendo más atractivo al automóvil, pero haciendo creciente el problema de la congestión.

Figura 1.

Mecanismo de transmisión del ingreso y la motorización



Nota. Tomado de Ortuzar (2000)

Con base en lo anterior, surgen algunos interrogantes ¿Qué motiva a los habitantes del Valle de Aburrá a utilizar los distintos modos de transporte urbanos? ¿Qué los motiva a elegir transportarse en vehículo privado propio, con implicaciones en la congestión, y no utilizar transporte público? ¿Se están tomando las medidas adecuadas para incentivar el uso del transporte público y de los modos no motorizados?

0.1.2 Formulación del problema.

¿Cuáles son los factores asociados a la elección modal de transporte público y privado en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), Colombia?

0.2. Justificación

La movilidad en las sociedades contemporáneas cobra cada vez mayor relevancia por los retos que implica la prestación eficiente e idónea de los servicios de transporte. En Colombia ya se pueden observar problemas en ciudades intermedias y grandes, como Bogotá, Medellín,

Cartagena, entre otras. Esto motiva que desde la ciencia económica se puedan aportar soluciones a la movilidad urbana a través de las herramientas fundamentadas en la Economía del Transporte, que pueden contribuir a la formulación de políticas públicas.

0.2.1. Contribución académica

En las universidades colombianas se han adelantado diversos estudios con relación al transporte urbano. Para el caso puntual de la Universidad de Cartagena y más específicamente, su programa de Economía, son pocas las investigaciones que se han realizado en esta materia. Es de saber que se pueden proponer soluciones a los problemas de movilidad de diferentes disciplinas, por lo que la contribución académica de este trabajo está enmarcada en la generación del conocimiento desde la óptica de la economía.

0.2.2. Contribución científica

En literatura los principales estudios con relación a la Economía del Transporte se realizan principalmente desde dos enfoques: la oferta y la demanda. Desde el lado de la oferta encontramos estudios a las empresas productoras de servicios de transporte y las que crean infraestructura de transporte. Por el lado de la demanda, encontramos los estudios de la elección modal de los usuarios de transporte público y privado. Este trabajo pretende generar evidencia empírica desde el enfoque de la demanda, permitiendo así que las tareas de planificación y gestión de la oferta sean acordes a las necesidades de movilidad.

0.2.3. Contribución social

En las ciudades que no se realiza una buena gestión del sistema de transporte, se pueden presentar problemas como la congestión, contaminación del aire o mala cobertura. En municipios

del AMVA ya algunos de estos afectan de manera significativa la calidad de vida de sus habitantes. Con los resultados que alcance esta investigación se espera aportar información útil para la toma de decisiones, que al final se traduzcan en mejoras en el bienestar de la toda la población.

0.2.4. Contribución a la política pública

La existencia de insumos ayuda a que se haga una buena gestión desde lo público. Estos insumos pueden ser generados por la academia, el sector privado, las mismas autoridades y/o las organizaciones de la sociedad civil. En ese orden de ideas, esperamos que los análisis y resultados que se deriven de esta investigación puedan servir en los procesos de formulación de políticas públicas pertinentes y efectivas. Se destacan algunas conclusiones producto de estudiar este enfoque desde la demanda, como el conocer los factores asociados a la elección modal de transporte público y privado. Este ayuda en la gestión, planificación, modificación y expansión de los modos de transporte sostenibles.

La economía del transporte brinda una serie herramientas metodológicas derivadas de la aplicación de la teoría económica, lo que permite hacer uso de los datos de la Encuesta Origen Destino (EOD) y analizar los factores que inciden en la decisión de un individuo a la hora de elegir un modo de transporte en el AMVA, es decir, demandar servicios de transporte. La metodología se puede replicar en diferentes contextos, siempre que se cuente con los instrumentos para capturar los datos. Se pretende por tanto que esta investigación académica sirva como referencia para futuras investigaciones que hagan uso de los datos desde otra perspectiva.

En síntesis, se espera contribuir en la elaboración de estrategias que mejoren la efectividad de las políticas de movilidad en los Municipios del AMVA y a su vez las condiciones de calidad de vida de los ciudadanos.

0.3. Objetivos

0.3.1. Objetivo general.

Analizar la elección modal de los usuarios del transporte público y privado urbano en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA).

0.3.2. Objetivos específicos.

Describir las características socioeconómicas y la dinámica del transporte en el AMVA, desde una perspectiva de integración y de movilidad sostenible.

Examinar los factores que condicionan la elección de los modos de transporte en el AMVA.

Cuantificar las relaciones entre los factores analizados, los modos de transporte contemplados y la demanda de transporte en el AMVA.

0.4. Marco referencial

0.4.1. Estado del arte

Para hacer análisis de la elección modal de transporte urbano que hacen los individuos, se hace uso de la modelación, específicamente la preeminencia de modelos utilizados es la iniciada por Domencich y McFadden (1975). Los cuales pusieron en marcha un modelo sobre el comportamiento de los desplazamientos en transporte, llevando a cabo una versión anidada del

Modelo Logit Multinomial (MLM) en el cual obtuvo excelentes resultados (Mcfadden, 2001, pp 5).

El modelo MLM ha demostrado contar con una extensa aplicabilidad empírica, pero como modelo teórico de comportamiento de elección, las restricciones de su propiedad de Independencia de Alternativas Irrelevantes (IAI) le hacen poco satisfactorio. Por este motivo se han desarrollado los modelos MLM Anidados, los modelos de valor extremo generalizado (VEG) y los modelos probit multinomiales (MPM), para aliviar las propiedades restrictivas del modelo MLM sencillo (Mcfadden, 2001, pp 11).

Los modelos logit mixtos pueden aproximar cualquier modelo de utilidad aleatoria y permiten resolver además 3 de las limitaciones del logit multinomial: la posibilidad de considerar variaciones aleatorias en los gustos de los individuos, plasmar patrones de sustitución sin restricciones y permitir la correlación entre los factores no observados a lo largo del tiempo (Anta, 2016). En Colombia, Jiménez & Salas (2017) estiman un logit mixto para evaluar la demanda de transporte en tres modos: bus/metro, taxi y particular, con el fin de calcular una tarifa que ayude a mitigar la congestión sobre una vía concurrida en el Área Metropolitana de Bucaramanga, vía reducción de la demanda de auto.

A pesar de las restricciones presentadas en el MLM se debe destacar que es uno de los más usados a la hora de hallar los determinantes de la demanda de transporte urbano. Trabajos representativos a nivel nacional utilizan esta metodología para analizar los determinantes de la elección del modo de transporte predominante para dirigirse a diferentes sitios dependiendo del motivo del viaje, que a su vez son afectados por un conjunto de características socioeconómicas

(Fajardo y Gómez, 2015; García et al., 2016; Amariles, 2016; Trujillo, 2015 y Arbeláez, 2015) y en otros, añadiendo factores espaciales y de segregación residencial que tengan en cuenta la existencia de conglomerados socio-demográficos intraurbanos (Daza, 2017).

En las ciudades de Medellín, Cali, Popayán, Bogotá, Villavicencio, Bucaramanga, Ocaña, están entre las que se han realizado estudios recientes de demanda de transporte urbano usando la metodología propuesta por MLM, aun añadiendo otros métodos de tal manera que permite comparar resultados; en otros se incluyen nuevas variables para robustecer el análisis y configurar los determinantes.

Existe un número de variables que se encuentran en casi todas las investigaciones como el tiempo de viaje, costos de transporte, características propias de los individuos como su ingreso, edad, género, estrato, nivel educativo, ocupación, jerarquía del hogar, origen del viaje, entre otros que se consideran comúnmente como factores que inciden dentro de la utilidad sistemática de los individuos, es decir, el componente observable y medible de la función de utilidad aleatoria.

Fajardo y Gómez (2015) analizan las variables que inciden en la elección del modo de transporte tanto público como privado en la ciudad de Popayán, utilizando dos modelos del tipo Logit Multinomial, tomando categoría base el transporte público colectivo. Usan variables explicativas como: el tiempo de viaje, género, edad, jefe de hogar, ingreso, costo de viaje. La variable dependiente contiene los modos: a pie, bicicleta, moto particular, mototaxi, colectivo, taxi y automóvil. En este, los costos, el tiempo, los ingresos y la edad se constituyen en factores

determinantes en la elección modal de transporte en la ciudad de Popayán, a diferencia de variables como el género y/o ser jefe de hogar que no resultan ser relevantes en ambos modelos.

El común acuerdo en las recomendaciones de política pública para disminuir el problema de la congestión es que hay que tomar acciones que contribuyan a disminuir la elección de automóvil. Fajardo y Gómez (2015) recomiendan que aquellas decisiones que afecten los costos de modos como el taxi y el automóvil pueden no influir en la elección de este modo, por tal razón el control del uso del vehículo para evitar congestiones por la vía de los costos puede no tener mucho éxito.

Vale citar el trabajo realizado por García et al., (2016) en el cual hacen uso de la Encuesta de Calidad de Vida (ECV) de la ciudad de Medellín para el año 2012, con el objetivo de diagnosticar el grado de congestión vehicular de la ciudad. Estiman un modelo logit multinomial, pero, a diferencia de otros estudios esta investigación analizó la relación entre el gasto de las familias en transporte y la elección de transporte (público o privado) a través la metodología de elasticidad gasto de la demanda. Se tomó como categoría base de elección modal el transporte particular (automóvil privado), para ver los cambios marginales de las probabilidades entre modos y características socioeconómicas, especialmente el estrato, con el cual existe una relación entre el tipo de transporte utilizado para ir al trabajo. Por otro lado, a medida que el gasto en transporte particular aumenta disminuye la probabilidad de usar este tipo de transporte, mientras que la probabilidad de usar bus aumenta; en el caso del metro y el taxi hay aumentos similares de probabilidad, pero no son tan grandes como en el caso de la opción bus.

A una conclusión muy similar llega Amariles (2016) quien estima también un modelo Logit Multinomial con los datos de la ECV del año 2014. La educación, el género y la percepción de la calidad del sistema de transporte público se constituyen en variables relevantes a la hora de elegir un modo. La posesión de vehículo, un mayor ingreso y estrato, aumentan la probabilidad de utilizar el transporte particular como principal modo. La percepción de una mala calidad del transporte público es un incentivo para la utilización del vehículo particular.

En el plano internacional, encontramos trabajos que aplican una perspectiva de género en el análisis de la demanda de transporte urbano. Olmo (2015) midió las diferencias de género en la movilidad cotidiana andaluza, en España, usando dos modelos econométricos del tipo Logit de elección binaria independiente para cada género (enfoque de género). Dhau et al. (2017) estiman un modelo MNL con datos de la ciudad de Buenos Aires, en el cual evidenciaron que, ante un aumento en el tiempo o el costo de alguna alternativa, caerá la utilidad de elegir dicha alternativa. Concluyen que en general, los coeficientes para el modelo Logit Multinomial no son sencillos de interpretar dado a que su forma no lineal y que medidas como Odds Ratios se encuentran íntimamente relacionadas con la interpretación de los parámetros de la regresión.

Por su parte Anta (2016) realiza una modelación de la demanda por transporte público en ciudades españolas y francesas que poseen sistemas metropolitanos de capacidad intermedia (SCI). Con datos recopilados de encuestas de preferencias reveladas (PR) y preferencias declaradas (PR) se estiman modelos logit multinomial, logit anidado y logit mixtos. Esto con el fin de establecer si existe o no una preferencia inherente por los ferroviarios públicos vs los buses de alto nivel que ofrecen servicios similares.

Finalmente, Nguyen et al. (2019) experimentan con la elección que hacen las personas de los diferentes modos de transporte en la ciudad de Ho Chi Minh, Vietnam. Consideran como alternativas algunos modos tradicionales como motocicletas y bus, los servicios de taxi asistidos por la tecnología y un hipotético metro. Para la modelación de la demanda se hace uso de modelos de elección discreta y adicionalmente, se calcula la disposición a pagar por el servicio metro. Utilizan como marco referencial la teoría de la demanda de las características propuesta por Kevin Lancaster en 1966 y la Teoría de la Utilidad Aleatoria. Dentro de sus hallazgos están que a medida que incrementa el tiempo y el costo del viaje en un modo de transporte, la utilidad disminuye y con ella la probabilidad de elegirlo.

Se concluye este estado de la cuestión, que el principal marco teórico utilizado por la mayoría de estas investigaciones sigue la línea de McFadden (1975) relacionados con la utilidad indirecta y utilidad aleatoria. La principal metodología para el análisis de la elección modal es la estimación modelos logit que permiten predecir la demanda.

0.4.2 Marco teórico

- *Teoría de la Elección Discreta.*

Las decisiones económicas en gran parte se hacen en presencia de discrecionalidad entre alternativas. Cuando son consumidos bienes no divisibles, como el transporte, toman relevancia sus características y no su cantidad. (Manski y McFadden, 1981)

El postulado de Lancaster (1966) modifica la teoría económica clásica al establecer que la utilidad se deriva de las características de los bienes y de los bienes per sé. En ese orden de ideas, el consumo de un individuo está determinado por las cantidades que consume de bienes divisibles y por la elección de alternativas discretas que están representadas por una serie de

atributos que reflejan características. De este modo la formulación del problema del consumidor es la siguiente:

$$\text{Max}_{Y_j} U(Y, Q_j) \quad (1)$$

$$\text{s.a: } \sum_i P_i Y_i + c_j \leq I$$

$$Y_i \geq 0 \quad j \in J$$

Donde P_i e Y_i son los precios y las cantidades del bien i de naturaleza continua, Q_j representa el vector de características de la alternativa discreta j , c_j representa el costo de dicha alternativa, I es el ingreso del individuo y J el conjunto de alternativas disponibles. En general Q_j incluye aquellos atributos medibles que determinan las decisiones del consumidor. En los modelos de demanda de transporte es usual que la variable tiempo de viaje forme parte del vector Q_j debido a que aparte de influir en las decisiones de los individuos es una variable de política importante.

La existencia de solución al problema está garantizada si la función de utilidad cumple las propiedades matemáticas deseadas. La resolución de las condiciones de primer orden para cada j proporciona las demandas condicionales $Y_j(P, I - c_j, Q_j)$. De la sustitución de Y_j en la función de utilidad se obtiene la función de utilidad indirecta condicional $V_j = V_j(P, I - c_j, Q_j)$, que representa la máxima utilidad que puede obtener el individuo al elegir la alternativa j . Al maximizar en j , el individuo elegirá aquella alternativa que le proporcione máxima utilidad. Si se define $V^* = \text{Max } V_j(P, I - c_j, Q_j)$, la identidad de Roy proporciona la demanda de las alternativas discretas:

$$\frac{\frac{\partial V^*}{\partial c_j}}{\frac{\partial V^*}{\partial I}} = \delta_i = \begin{cases} 1 & \text{Si } V_i \geq V_j, V_j \neq i \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2)$$

que en este caso es una variable discreta. Derivando la ecuación V_j podemos obtener los resultados siguientes:

$$\text{Utilidad marginal del ingreso} = \frac{\partial V_j}{\partial I} = - \frac{\partial V_j}{\partial c_j} \quad (3.0)$$

$$\text{Valor subjetivo de la característica } k = \frac{\partial V_j / \partial q_{kj}}{\partial V_j / \partial c_j} \quad (3.1)$$

La cuantificación de estas magnitudes podrá llevarse a cabo una vez que V_j se haya estimado empíricamente. En general, cualquier función de utilidad indirecta que cumpla las propiedades matemáticas adecuadas puede ser aproximada en función del nivel de precisión que deseemos obtener, por una especificación lineal en los parámetros que incorpore diversas transformaciones e interacciones de las variables explicativas. La especificación elegida para la función de utilidad indirecta condiciona de manera sustancial aspectos tan importantes como el valor subjetivo de un atributo determinado (por ejemplo, el valor del tiempo), el análisis del efecto que produce la variación conjunta de dos o más variables (interacciones) y el papel que juega el ingreso sobre las decisiones de los individuos.

Otras formulaciones del problema del consumidor que consideran la variable tiempo como un recurso económico y, por tanto, añaden una restricción adicional de tiempo, permiten discutir la forma de incorporar la variable ingreso y la variable tiempo a la especificación de la función de utilidad indirecta.

- *La teoría de la utilidad aleatoria.*

La teoría de la utilidad aleatoria proporciona el fundamento teórico de los modelos de elección discreta, los cuales representan la herramienta estadística que permite abordar de forma empírica el problema de modelar la demanda en el contexto de elecciones discretas. Esta establece lo siguiente:

1. Los individuos se comportan como homo *economicus*, es decir, actúan de forma racional y poseen información perfecta. Por esta razón, eligen la alternativa que les proporciona la máxima utilidad, dadas sus restricciones.
2. Dado un conjunto general de alternativas A , las restricciones a las que se enfrenta cada individuo q determinan el conjunto de alternativas que éste tiene disponible $A_q \subseteq A$.
3. Cada individuo asocia una utilidad U_i (utilidad indirecta condicional truncada) a cada una de las alternativas $A_i \in A_q$.

Desde esta perspectiva, la probabilidad de que un individuo q seleccione la alternativa i vendrá dada por:

$$P_{iq} = P(U_{iq} \geq U_{jq} \quad \forall A_j \in A_q \quad j \neq i) \quad (4)$$

La naturaleza aleatoria de las funciones de utilidad se debe a diversos factores, Manski (1977) identifica cuatro fuentes distintas de aleatoriedad: i) atributos no observados por el investigador que el individuo sí considera en su elección, ii) variaciones en los gustos de los

individuos, iii) errores en la medición de los atributos y iv) empleo de variables proxy para medir algunos atributos.

Existen diversas interpretaciones del modelo de utilidad aleatoria. La adoptada comúnmente por los economistas se debe a McFadden (1974) y establece que la función de utilidad puede expresarse como la suma de una componente observable o representativa y de una componente no observable de naturaleza aleatoria.

De este modo,

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad (5)$$

Donde V_{iq} es la utilidad representativa (u observable por parte del modelador) que el individuo q asocia a la alternativa A_i y se expresa en términos de un vector de atributos medibles X_{iq} ; ε_{iq} representa la componente aleatoria de la utilidad y recoge los aspectos señalados anteriormente.

La variable dependiente refleja el comportamiento del individuo y es una variable discreta. El modelo tiene, por tanto, un carácter probabilístico y su estimación entrega, como resultado, la distribución de probabilidad de la variable dependiente para cada observación individual. Que a su vez dependerá de las hipótesis que se efectúen acerca de la distribución conjunta del vector de errores aleatorios ($\varepsilon_{iq} \text{ } A_i \in A_q$).

- *Supuesto de Independencia de Alternativas Irrelevantes.*

El modelo MLM descansa sobre el supuesto de independencia de alternativas irrelevantes; esta implica que el cociente entre las probabilidades de elección de dos alternativas cualesquiera no está afectado por la presencia o ausencia de alternativas adicionales en el conjunto de elección; en otras palabras, es el mismo para cada conjunto de elección que incluya ambas alternativas. Existen diversos test estadísticos que permiten verificar si un modelo satisface o no la propiedad de independencia de las alternativas irrelevantes y se pueden verificar en los trabajos de Hausman y McFadden (1984) y McFadden (1987) como citan Ortúzar y Román (2003).

0.5 Diseño metodológico

0.5.1 Método/enfoque de investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativa, puesto que lleva en sí un orden estricto de procesos en donde no se considera eludir pasos sino seguir lo establecido, para comprobar hipótesis concernientes a lo mencionado en los modelos de demanda de transporte hoy estudiados. Es el caso que, para esta investigación se busca aplicar métodos cuantitativos que brinda la Economía del Transporte, para analizar los determinantes de la elección de los modos de transporte por parte de los habitantes del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

También se puede considerar como una investigación correlacional que, según Sampieri () “busca conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables”.

0.5.2 Delimitación del estudio

- *Delimitación espacial.*

Esta investigación comprende el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), ubicada en el departamento de Antioquia en Colombia. Este importante conglomerado urbano está compuesto por 10 municipios y 66 macrozonas (comunas), que son conectados principalmente por sus sistemas de transporte: Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Envigado, Girardota, Itagüí, La Estrella, Medellín, Sabaneta.

- *Delimitación temporal.*

El periodo de estudio correspondiente a este trabajo es el año 2017, de acuerdo con la Encuesta de movilidad Origen-Destino realizada en el AMVA.

0.5.3 Datos

La Encuesta Origen-Destino (EOD), se constituye en fuente primaria de información. La base de datos cuenta con 16.340 hogares encuestados, así como también con 52.470 personas relativas a esos hogares. La unidad de análisis a utilizar serán las personas. Según la metodología aplicada en el momento de la recolección de información, la selección de los hogares a visitar en las macrozonas urbanas se hizo mediante muestreo sistemático y en las macrozonas rurales de forma aleatoria en los sectores más poblados. Se aplicó bajo un intervalo de confianza del 90% y un error máximo probable del 10%.

En comparación con las EOD de los años 2005 y 2012, la del año 2017 tuvo una disminución del tamaño muestral. Uno de los fuertes de la EOD 2017 es la mejor caracterización en los viajes interzonales. Se suman 4 modos de transporte: Metroplús, tranvía, Encicla y

plataformas tecnológicas (Uber y Cabify). Repuntan los viajes intermodales y son muy relevantes las etapas de cada viaje.

La EOD se compone de 3 bases de datos: las características asociadas al hogar encuestado, las propias de los moradores de cada hogar y la de los viajes realizados por estos.

La base de datos denominada “Hogares”, relaciona 16.340 encuestas que se le aplicaron a los hogares y contiene 73 variables en las que se puede mencionar el id del hogar, el estrato, si poseen vivienda propia, si poseen vehículos, entre otras. Por su parte, los datos llamados “Moradores” contiene 52.469 personas encuestadas que componen los hogares y alrededor de 87 variables que explican sus características. La edad, género, escolaridad máxima y ocupación son algunas variables relevantes de esta base.

Por último, los viajes realizados por los moradores representados en la base de “Viajes”, cuya cifra asciende a 87.613 viajes realizados por estos y que las variables principales son las orientadas a establecer un punto de origen y un destino georreferenciado, que arroja el tiempo de viaje y la descripción de los modos de transporte usados por cada ruta que eligen. En esta base de datos se puede apreciar las decisiones de viajes que toman los individuos en un periodo determinado; un individuo después que ha determinado cuántos viajes va a realizar, procede a elegir el destino d , para luego seleccionar el modo de transporte m con su respectiva ruta r . Hay individuos que toman rutas que se componen diferentes etapas; la EOD muestra que un viaje puede requerir hasta 5 etapas, omitiendo las caminatas iniciales y finales, de acuerdo con la ruta seleccionada y por su puesto la ruta está compuesta por la elección de distintos modos de transporte.

En el manejo de los datos se observaron viajes de algunos individuos que se realizan por fuera de la delimitación espacial del AMVA, de manera que se optó por excluirlos de la submuestra, seleccionando solamente los datos correspondientes a los individuos cuyo origen y/o destino es uno de los 10 municipios del AMVA.

Siguiendo con el proceso de depuración y estableciendo algunos supuestos, la base de datos que se utilizará para estimar el MLM quedó con 32.251 observaciones para solo la primera etapa del viaje que es la que cuenta con más viajes y que están dentro de un mismo horario. Este se considera un supuesto fuerte, ya que anula las demás etapas de viaje de cada individuo, considerando que el modo elegido es el imperante para llevarlo a su lugar de destino.

Se seleccionará solo el viaje de origen, es decir, el primer viaje que realiza el individuo durante el día. Posterior a ello, se descubrió que hay personas que realizan más de dos viajes en el día, de manera que se procedió a seleccionar de ellos solo su primer viaje desde su hogar.

La base de datos es de uso abierto y se puede encontrar en la página oficial del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

0.5.4 Herramientas de procesamiento de información

Para el procesamiento de los microdatos, se utilizará la herramienta STATA16, QGIS 3.12 para la elaboración de mapas y el paquete Office 365 para la redacción del documento, elaboración de gráficas y presentación. Además, se hará uso del gestor bibliográfico Mendeley.

0.5.5 Métodos econométricos para el estudio empírico

En la realización de este estudio se plantea la estimación de un Modelo Logit Multinomial (MLM) que permita estimar las probabilidades elección modal de transporte de los

individuos del AMVA sujeto a un conjunto de características socioeconómicas y a los atributos de las alternativas de transporte disponible. Para este caso se asume que los habitantes del Valle de Aburrá tienen acceso a todos los modos de transporte contemplados por la encuesta; que la elección la realizan de forma racional, es decir, eligen el modo que maximiza su nivel de utilidad; poseen información perfecta; que los individuos actúan de forma determinística cuando eligen entre los modos y que la distribución de los términos de error tiene la forma Gumbel: Independiente e Idénticamente Distribuido (IID), es decir, con una media 0 y una varianza constante.

El MLM se estimará mediante el método de máxima verosimilitud, que consta, de dos pasos: i) calcular la probabilidad de cada muestra como función de los parámetros del modelo (dada una muestra observada finalmente, la probabilidad de observar esa muestra varía sólo como función de los parámetros) y ii) estimar el parámetro como el valor que hace máxima la probabilidad de observar una muestra concreta. Además, el MLM descansa sobre el supuesto de independencia de alternativas irrelevantes (IAI).

Finalmente, el modelo propuesto para este trabajo tendrá la siguiente forma:

$$\Pr(\text{modo}_i) = f(\beta_0 + \beta_1 \text{sexo}_i + \beta_2 \text{edad}_i + \beta_3 \text{escolaridad_max}_i + \beta_4 \text{ingreso_hogar}_i + \beta_5 \text{veh}_i + \beta_6 \text{tiempo de viaje}_i + \beta_7 \text{costo de viaje}_i + \varepsilon_i)$$

Donde,

Pr = Probabilidad de elección del modo de viaje del individuo i.

β_i = Coeficientes de las variables independientes.

sexo = Género del individuo.

edad = Edad en años del individuo.

escolaridad_max = Nivel de escolaridad máximo alcanzado por el individuo.

ingreso_hogar = Ingresos en el hogar.

vehi_moto = Número de vehículos motorizados en el hogar.

tiempo de viaje = Tiempo de viaje en minutos.

costo de viaje = Costo de viaje en pesos colombianos (COP).

ε = Término de error estocástico.

0.5.6 Variables y relaciones esperadas.

Para desarrollar el modelo que pretende estimar esta investigación se utilizarán las siguientes variables:

Tabla 1

Variable dependiente

Variable	Unidad de medida y descripción
Modos de transporte	A pie, bicicleta, Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITVA), Bus, Taxi, Motocarro y Mototaxi, Automóvil particular, Moto, Transporte especial, Transporte particular solicitado por plataforma y sin plataforma.

Nota: Elaboración de los autores.

Tabla 2*Variables independientes*

Variable	Unidad de medida y descripción	Relación esperada	Referente bibliográfico
Nivel de Escolaridad	1. Ninguno 2. Educación Básica 3. Educación Media 4. Educación Superior. 5. Educación Posgrado	(+) transporte privado (-) transporte público y activo.	Trujillo (2015)
Género	1. Hombre 0. Otro caso	(+) para todos los modos	Chavarriga (2007); Trujillo (2015)
Edad	En número de años	(-) transporte público y activo (+) para transporte en automóvil privado y taxi	Dhau et al. (2017)
Ingresos por hogar	Bajos 1. Menor a 738.000 2. \$738.000-1'500.000 Medios 3. 1'500.001-2'250.000 4. 2'500.001-3'500.000 Altos 5. 3'501.000-5'000.000 6. 5'000.001-7'000.000 7. Más de 7'000.000	(-) transporte público y activo (+) transporte privado.	Amariles (2016)
Vehículos motorizados en el hogar	1. 0 veh_motor en el hogar 2. 1 veh_motor en el hogar. 3. 2 o más veh_motor en el hogar.	(-) transporte público y activo (+) transporte privado	Amariles (2016)
Tiempo de viaje	Tiempo de viaje promedio en minutos	(-) para todos los modos	Arbeláez (2015)
Costo de viaje	Costo en pesos colombianos (COP) cálculo de los autores.	(-) para todos los modos	Arbeláez (2015)

Nota: Elaboración de los autores.

1. Características socioeconómicas y dinámica del transporte en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)

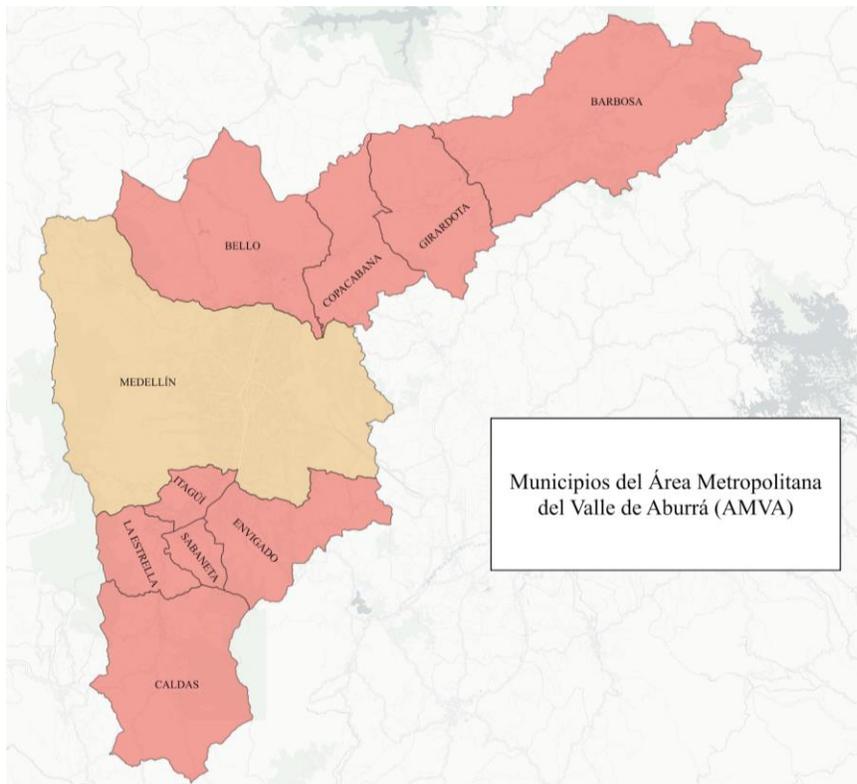
1.1. Datos del contexto sociodemográfico y económico del AMVA

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA, se ubica en la Cordillera Central, en el departamento de Antioquia, está compuesta por 10 municipios que conforman una entidad administrativa metropolitana, con una extensión de 1.165,5 km², de los cuales el 15,21% corresponde a suelo urbano, según los Planes de Ordenamiento Territorial vigentes para cada municipio. El mayor porcentaje de territorio urbano lo tienen los municipios de Itagüí (57,7%), Medellín (29,7%) y Sabaneta (23,7%), mientras que los municipios menos urbanizados son Girardota (3,7%), Caldas (1,4%) y Barbosa (1,3%) según cifras citadas por Medellín Cómo Vamos (2017). La conformación del Valle de Aburrá es el resultado de la unidad geográfica determinada por la cuenca del río Aburrá-Medellín, principal arteria fluvial que lo recorre de sur a norte y por una serie de afluentes que caen a lo largo de su recorrido (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2020b).

En la figura 2 se observa la ubicación geográfica del AMVA. Este conglomerado urbano está compuesto por 10 municipios: Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Envigado, Girardota, Itagüí, La Estrella, Medellín, Sabaneta y su vez se divide en 66 macrozonas (comunas), que son conectadas por su sistema de transporte, gracias al enfoque de integración que viene administrando el gobierno metropolitano, el cual veremos con mayor detalle más adelante.

Figura 2

Municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA).



Nota. Elaboración de los autores con información del Geoportal-DANE.

El AMVA tenía en 2017 una población de 3.866.110 habitantes según las cifras proyectadas del censo 2005 realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). La población del área urbana representa el 95% del total, mientras que la rural es solo del 5%. Como se observa en la tabla 3, Medellín contaba en 2017 con 2.508.452 habitantes, que representaban el 65% del total de la población del AMVA, siendo el municipio más poblado, por detrás está Bello con 473.384. La menor población la posee Barbosa con 51.619 habitantes.

Tabla 3

Número de habitantes por municipios del AMVA año 2017 y porcentaje de suelo urbano según POT municipales.

Municipio	Población	Proporción	%Suelo Urbano
Medellín	2,508,452	65%	29,7%
Bello	473,384	12%	14,9%
Itagui	273,944	7%	57,7%
Envigado	232,854	6%	15,7%
Caldas	79,654	2%	1,4%
Copacabana	71,889	2%	7,0%
La Estrella	64,323	2%	10,4%
Girardota	56,751	1%	3,7%
Sabaneta	53,240	1%	23,7%
Barbosa	51,619	1%	1,3%
Total	3,866,110		

Nota. Proyecciones de Población DANE a partir de censo 2005 y Medellín Cómo Vamos.

Se puede decir que existe una alta proporción de ruralidad con relación a la superficie total de cada municipio, no obstante, se observa que la mayor parte de la población se concentra en el suelo urbano.

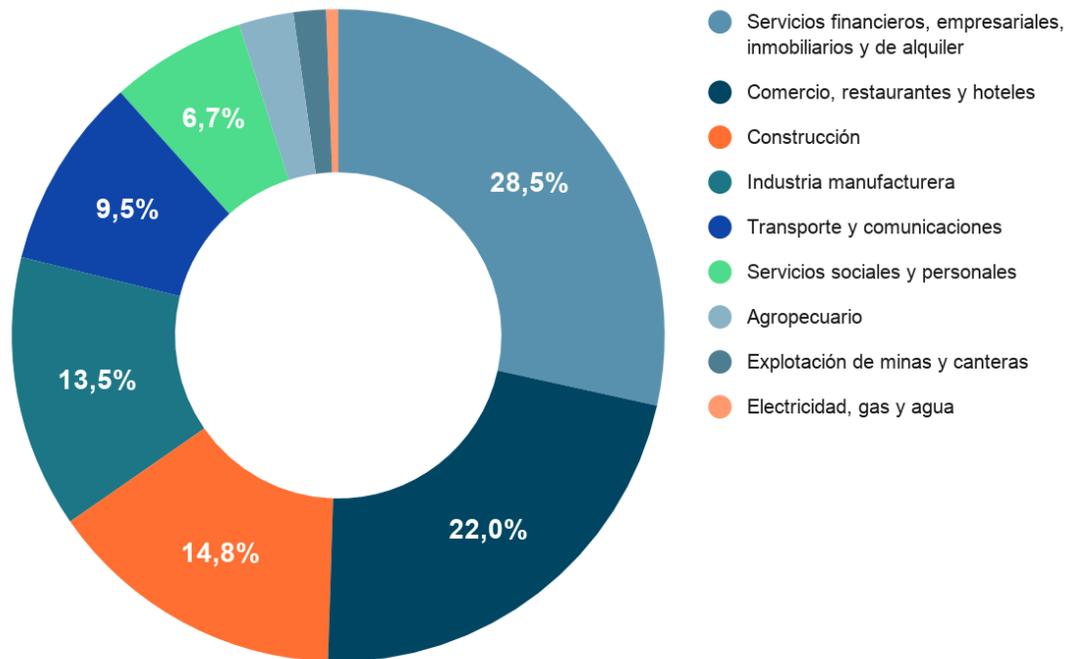
En cuanto a la actividad económica, cabe decir que se desarrolla principalmente en Medellín. Para el año 2014 se tenía que la participación en el Producto Interno Bruto - PIB del departamento de Antioquia de los municipios del AMVA se distribuyó en este orden: 44,2% para Medellín, 5,6% para Envigado e Itagüí, con un 4,4% les sigue Bello, 1,8% para Sabaneta, 1,2% para La Estrella y, finalmente, con menos de 1% se ubicaron Copacabana, Caldas, Barbosa y Girardota (Medellín Cómo Vamos, 2019).

Para 2017, según la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia (2018) del total de empresas constituidas, la mayor participación la tenían aquellas vinculadas al sector de Servicios financieros, empresariales, inmobiliarios y de alquiler con un 28,4%, seguida de aquellas en el

sector de Comercio, Restaurantes y hoteles con un 22%; ya con estos dos sectores se tienen que el 50% de la actividades económicas empresariales antioqueñas registradas por esta cámara de comercio. El tercer sector con mayor participación es el de la construcción con un 14,8% y sigue para completar el “top 4”, la industria manufacturera con un 13,5% del total de empresas constituidas.

Figura 3

Porcentaje de empresas en Antioquia registradas en la Cámara de Comercio de Medellín según sector



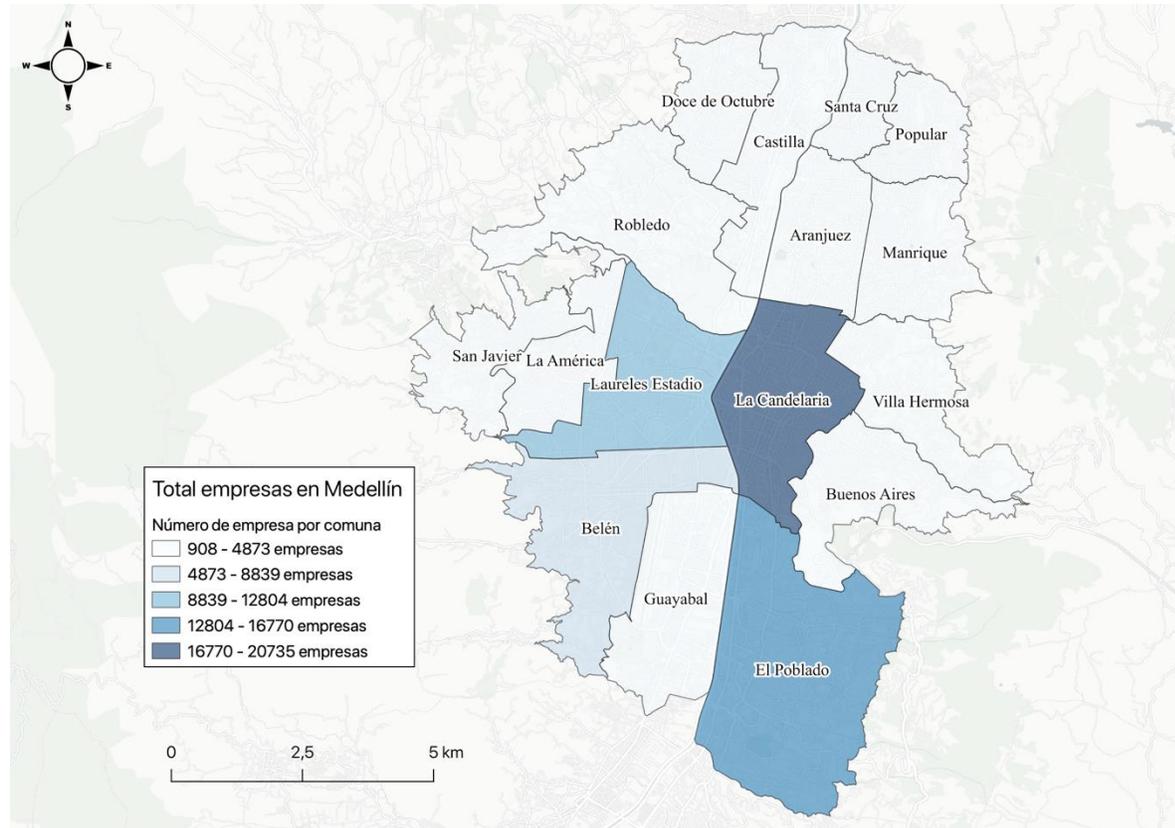
Nota. Elaboración de los autores con datos de la Revista Antioqueña de Economía y Desarrollo, 2017

El Informe de Calidad de Vida 2017 de Medellín Cómo Vamos dispone de información de empresas en Medellín, desagregadas por comunas. Para el año 2017, las empresas se concentraban principalmente en cuatro comunas, en orden descendente son: La Candelaria, El Poblado, Laureles-estadio y Belén. Medellín es el municipio más importante del AMVA puesto

que concentra la mayor cantidad de empresas y tiene la mayor participación de Antioquia, lo que lo convierte también en el principal atractor de viajes del Área Metropolitana, puesto que, a mayor actividad económica en una zona, mayor será la cantidad de viajes recibidos.

Figura 4

Empresas en la ciudad de Medellín según comunas



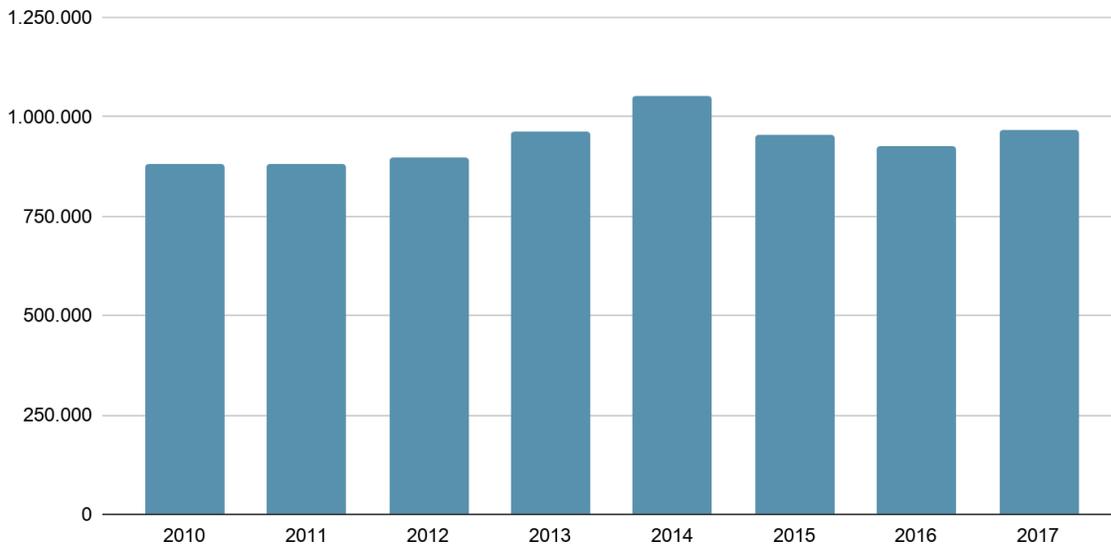
Nota. Elaboración de los autores con datos del Informe de Calidad de Vida 2017 de Medellín Cómo Vamos

Los datos del informe de Calidad de Vida 2017 de Medellín Cómo Vamos también contienen los resultados del ingreso per cápita de la unidad de gasto para el periodo comprendido entre 2010 y 2017 como se observa en la figura 5. Estos tuvieron un comportamiento creciente entre 2010 y 2014, cuando se pasó de \$882.684 a \$1.054.396, es decir, un incremento del 19,45%. Para 2015, tuvo una disminución del 9,53% y para 2016, cayó un 2,74% con respecto al

2015. En 2017 el ingreso aumentó, quedando con \$965.251, aunque es mayor a las cifras registradas en 2015 y 2016, es inferior a la de 2014.

Figura 5

Ingreso per cápita de la unidad de gasto en Medellín A.M, 2010-2017 (pesos de 2017)



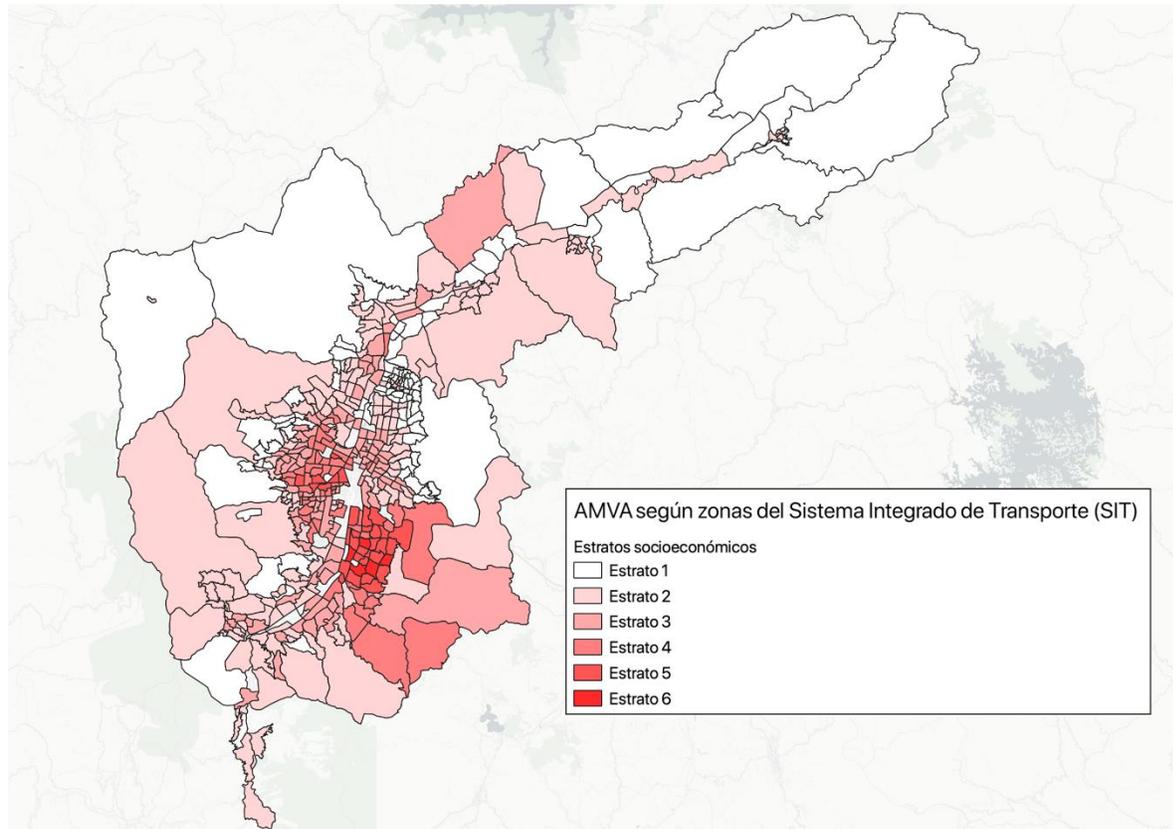
Nota. Elaboración de los autores con datos del Informe de Calidad de Vida Medellín Cómo Vamos, 2017.

Por otra parte, los datos de la Encuesta Origen-Destino 2017, permiten visualizar la distribución geográfica del AMVA por estratos socioeconómicos, desde el 1 hasta el 6. como se ve reflejado en el mapa de la figura 6, donde se observa la concentración de zonas SIT con viviendas de estratos altos como por ejemplo El Poblado, Belén, Laureles estadio, el municipio de Envigado y partes del corregimiento de Santa Elena. Estas se podrían ubicar en la parte central y suroriental del AMVA.

Por otra parte, al Norte del AMVA, y por la periferia occidental e incluso en la parte sur, se observan ya zonas con viviendas que son mayoritariamente de estratos más bajos.

Figura 6

AMVA según estratos socioeconómicos por zonas del Sistema Integrado de Transporte.

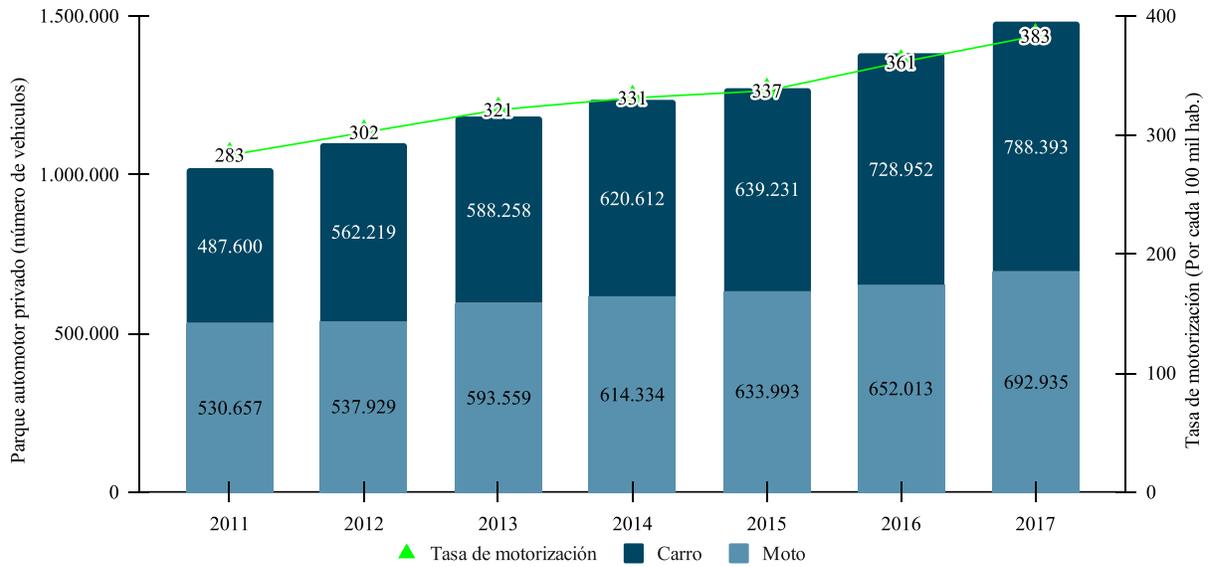


Nota. Elaboración de los autores con datos de la Encuesta Origen Destino 2017 del AMVA

La figura 7. muestra la evolución en del parque automotor privado en el Valle de Aburrá, pasó de 1.018.257 de motos y carros en el 2011 a 1.481.328 en el 2017, es decir, un incremento de más del 45% en sólo 7 años. Para 2017, el 53% del parque automotor privado estaba conformado por carros y el 47% por motocicletas, según las cifras de Medellín Cómo Vamos. Por su parte, la tasa de motorización muestra entonces el mismo comportamiento creciente, en 2011 había 283 vehículos privados por cada 100 mil habitantes y para el año 2017, esta cifra se había aumentado a 383 por cada 100 mil habitantes.

Figura 7

Parque automotor privado y tasa de motorización en el Valle de Aburrá, 2011-2017



Nota. Elaboración propia con datos del Informe de Calidad de Vida de Medellín Cómo Vamos, 2017.

La literatura afirma que existe una correlación positiva entre el incremento de los ingresos de los hogares y la demanda de transporte particular, es decir, a medida que aumenta el ingreso habrá específicamente mayor adquisición de automóviles y de motocicletas. En este sentido, las estadísticas del AMVA evidencian que estas dos condiciones se cumplen durante el periodo de estudio.

Así mismo, conocer el contexto del mercado laboral permite también entender la dinámica de movilidad del Área Metropolitana. Según estadísticas de la Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH) del DANE, para el año 2017 el 29% de las personas ocupadas en el AMVA pertenecían al sector de Comercio, hoteles y restaurantes; un 21% estaba en el sector de Servicios comunales, sociales y personales y un 19% en el sector de la Industria Manufacturera. Al sumar estos porcentajes, se obtiene un acumulado del 68% de población ocupada en estos tres

sectores. En cuanto a la tasa de informalidad laboral, esta se encontraba en el 42,4% del total de ocupados.

1.2 Transporte Urbano en Área Metropolitana del Valle de Aburrá: enfoque de movilidad sostenible e integrada.

Se puede decir que los municipios del AMVA son diferenciables solamente por el ámbito político-administrativo y por su autonomía fiscal, ya que están conectados por su transporte terrestre. Por causa del Acuerdo Metropolitano 019 de diciembre 19 de 2002, el sistema de transporte no puede ser tratado de manera independiente por la visión particular de cada municipio, sino como un asunto metropolitano, amplio y fortalecido en la articulación.

Para el año 2008 fue creada la Subdirección de Movilidad, a partir del reconocimiento del Área Metropolitana como autoridad de transporte masivo para el Valle de Aburrá, mediante la Resolución 1371 de 2008. Citando al Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2020):

Desde entonces, a través de la Subdirección, la entidad ejerce sus funciones y competencias en materia de movilidad, fortaleciendo la articulación y coordinación armónica del territorio en los diez municipios de la Región con base en el diálogo y la concertación frente a la necesidad de generar acciones conjuntas que promuevan una movilidad eficiente, equitativa, sustentable, segura, oportuna y económica.

Por lo anterior, para analizar correctamente la dinámica de movilidad en el AMVA, se debe considerar el estudio conjunto de todos los municipios como parte de un solo ente, ya que sus planes y normativas así lo contemplan debido a las relaciones cercanas entre estos tanto en lo económico como en lo social.

Otro punto es que, en los últimos años se han buscado diversas formas en la que los desplazamientos sean de una forma accesible, segura, eficiente y cómoda, tanto para las personas como para el transporte de carga. Esto ha conllevado a la realización de grandes cambios en la infraestructura, en los modos de transporte y el uso del suelo. Por estas razones, se puede afirmar que las ciudades están condicionadas por la forma en que están estructurados sus sistemas de transporte.

A pesar de los avances, la movilidad urbana, sigue mostrando retos a largo plazo que chocan con la búsqueda de hacer sustentables a las ciudades contemporáneas. Por ejemplo, en Latinoamérica el nivel creciente de urbanización y la mayor productividad asociada al proceso de aglomeración económica, han inducido a una mayor demanda de vehículos por parte de los hogares y negocios (Medina & Vélez, 2011), lo que genera condiciones adversas como la contaminación, la congestión, accidentalidad y/o mayores tiempos de desplazamiento.

En el AMVA la situación no ha sido distinta. La tasa de motorización y el parque automotor han mantenido entre 2005 y 2017 un comportamiento creciente como lo expusimos anteriormente. La congestión vial provoca por ejemplo, aumentos en los tiempos promedios de desplazamiento para un mismo recorrido; en el AMVA pasaron de 25 minutos en 2005 a 36 minutos en 2017 (Medellín Cómo Vamos, 2018).

La movilidad es un medio que permite a los ciudadanos, comunidades y empresas acceder a la multiplicidad de servicios, equipamientos y oportunidades que ofrece la región. Es bien sabido que la satisfacción de estas necesidades debe favorecerse desde el sector público, combinando de manera adecuada políticas de accesibilidad y de movilidad (Área Metropolitana

del Valle de Aburrá & Consorcio de Movilidad Regional, 2009) que ayuden a su vez a la solución sostenible de estas problemáticas.

1.2.1 Movilidad Sostenible

Es importante tener siempre presente el concepto de sostenibilidad. Esta implica satisfacer las necesidades de los ciudadanos de manera que no afecten su entorno, el medio ambiente y el territorio que habitan, situación que ha de mantenerse en el tiempo, es decir una cuestión de durabilidad. Cuando se vincula este concepto a la movilidad, se refiere a la manera como toman las decisiones de transporte los individuos y también a la estructura de la oferta disponible de modos para desplazarse. Siendo esta última la más influyente, puesto que un territorio que posee diversas alternativas de transporte sostenibles con características de acceso universal, eficiencia, seguridad e impacto ambiental (óptimo) (Sustainable Mobility for All, 2017), ayuda a que sus habitantes actúen de manera consciente y racional, en el sentido de conocer que su decisión de viaje no solo lo afectará a él, sino a otras personas, pero también a su entorno.

En ese orden de ideas, el hacer una movilidad sostenible implica que se apliquen distintas estrategias, políticas, programas, entre otros, que contribuyan a la disminución de los viajes en transporte privado, así como las externalidades negativas que se derivan de estos. En cambio, propiciar el aumento de los viajes en transporte público y los modos activos.

Lo anterior se puede relacionar con los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS, específicamente el denominado “ciudades y comunidades sostenibles”. Se puede rescatar que los

gobiernos se han enlazado para avanzar con estos objetivos en procura de hacer sustentables los territorios. Dentro de las metas señaladas está la 11.2 que de acuerdo a la ONU (2015):

De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad.

En efecto, el cumplir con esta meta es primordial para poder hacer sustentables las ciudades. Un transporte sostenible provee un ambiente más sano pues se reducen las emisiones de Gases de Efecto Invernadero – GEI y otros contaminantes, proporciona soluciones a la congestión vial, disminuye los tiempos de desplazamiento y ayuda a reducir la accidentalidad vial; como argumentan (Hidalgo & Díaz, 2014) al analizar que los sistemas y programas nacionales en Colombia implementados en los últimos años han tenido impactos socioeconómicos muy importantes.

1.2.2 Movilidad Integrada

Cuando se habla de una Movilidad Integrada, normalmente se refiere a un concepto asociado a la accesibilidad que tienen las personas a los diferentes modos de transporte disponibles para desplazarse de un lugar a otro. Se debe decir que es un concepto usado al hablar especialmente del sistema de transporte público eficiente, el cual en cierta medida busca reducir las externalidades negativas como la congestión, accidentalidad y contaminación, afectando

positivamente el tiempo y calidad del viaje de los usuarios e impactos significativos en costos de operación del sistema (FEDESARROLLO, 2013). Una movilidad integrada permite que las personas, tengan a su alcance diferentes modos de transporte en viajes que requieran de distintas etapas. Por ejemplo, en Medellín, luego de utilizar el metro, puedes cumplir la siguiente etapa del viaje en Metroplús o haciendo uso de la denominada ruta integrada, sin que se perciban costos adicionales durante el trayecto.

Para que lo anterior se desarrolle, es necesaria una correcta organización del uso del suelo, es decir, una planificación, diseño y construcción del espacio urbano por parte de las autoridades.

1.2.3 Caracterización del Transporte Público en el AMVA

El Transporte Público en el AMVA, incluye el conocido Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá - SITVA, el cual permite a sus habitantes desplazarse por los diez municipios. En este confluyen varios subsistemas: Subsistema de Transporte Masivo, Subsistema de Transporte Público Colectivo de Pasajeros - TPC (Conformado por las rutas de buses con un radio de acción municipal y metropolitano) y el Sistema de Bicicletas Públicas del Valle de Aburrá – Encicla (AMVA, 2017).

Figura 8

Logo del SITVA



Nota. Tomado de la página web del Gobierno del AMVA

Subsistema de Transporte Masivo: Está conformado por el Metro, Metro Cable, Tranvía y buses que circulan por carriles preferenciales y exclusivos (Bus Rapid Transit - BRT), así como alimentadores.

Metro: El metro inició su operación en 1995 en el Valle de Aburrá. Para 2017 contaba con 34,5 kilómetros de línea ferroviaria que mueve 739 mil personas diarias a una velocidad promedio de 37 km/h.

Metro Cable: Las líneas de cables se extienden para subir las laderas de Medellín y uno de ellos se prolonga en plan turístico hasta el Parque Arví. En total son 11,9 km de cables con 12 paradas repartidas en cinco líneas y una flota de 362 telecabinas que moviliza a diario 41.000 pasajeros. El primer cable de la ciudad fue puesto en servicio en el 2004.

Tranvía: Inició su operación en el 2016, presta servicio con una única línea de 4.3 km y nueve paradas, cuenta con una flota conformada por doce tranvías que movilizan 45.000 pasajeros diarios. El acompañamiento social en su fase de construcción permitió convertir el corredor del tranvía en galería urbana, un recorrido con memoria que permite hoy ver además del paisaje de la ladera oriental, los murales y la gastronomía local.

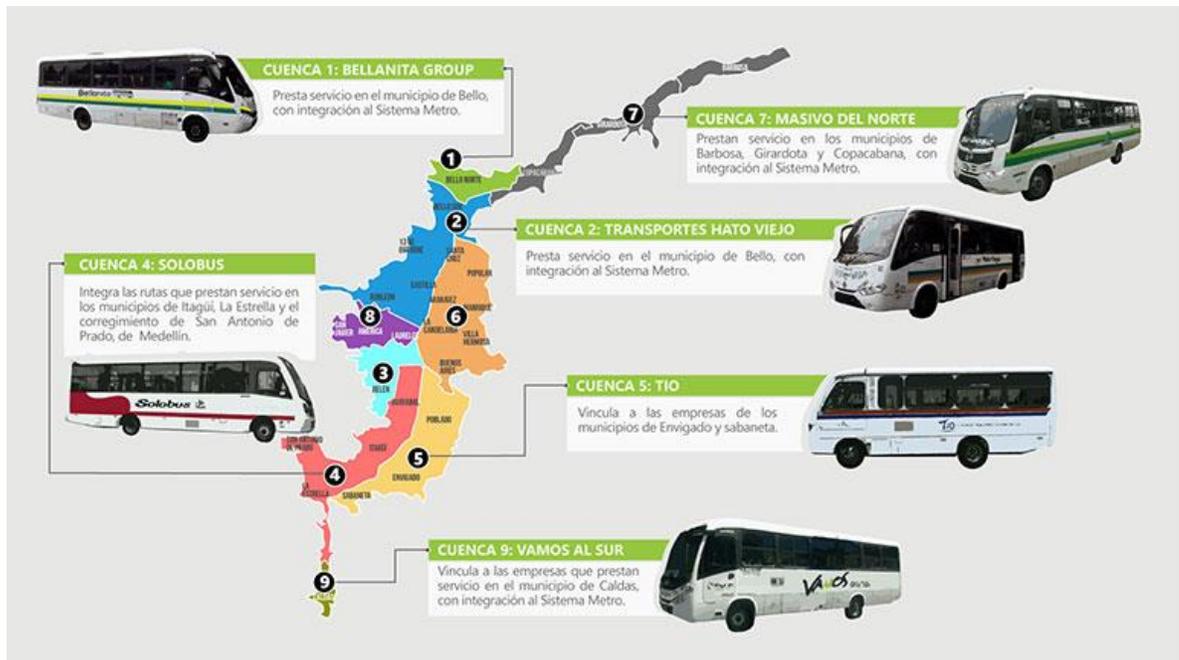
Metroplús: Moviliza a diario 125.000 pasajeros en dos líneas que suman 26 km de recorrido, cuenta con 48 paradas atendidas por una flota de 30 buses articulados y 47 padrones. Desde el inicio de su operación en el 2011, ha sido evidente la eficiencia de los viajes del Metroplús por los carriles exclusivos y la próxima conexión con los sistemas de Envigado e Itagüí son un paso más hacia la completa integración del sistema.

Buses alimentadores y rutas integradas: Organizados por cuencas, completan el sistema que entiende cómo se mueve la gente en el Valle de Aburrá y facilita sus desplazamientos en términos tarifarios y de eficiencia. En el sistema se movilizan a diario 110.000 personas, en 35 rutas operadas por una flota de 302 buses de 40 pasajeros y 65 buses de 19 pasajeros que conectan 1.033 paraderos en el Valle de Aburrá.

Subsistema de Transporte público colectivo de pasajeros (TPC): Con radio de acción municipal y metropolitano, está conformado por las rutas que transitan por dos o más municipios al interior del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. TPC está organizado en cuencas que son operadas por diferentes empresas de transporte.

Figura 9

Empresas que prestan el subsistema de Transporte Público Colectivo de Pasajeros por cuencas



Nota. Tomado de la página web del Gobierno del AMVA.

Subsistema de bicicletas públicas del Valle de Aburrá - Encicla: es un sistema con bicicletas dispuestas en el espacio público para que los ciudadanos las usen y se desplacen entre las estaciones del mismo Sistema.

En el AMVA existe integración con el SITVA porque se articulan diferentes modos de transporte bajo condiciones de integración física, virtual, operacional, tarifaria y de información al usuario.

Por otro lado, en el AMVA también se encuentran disponibles modos de transporte como los taxis, que vendrían siendo transporte público individual; están disponibles modos de transporte que son requeridos por los usuarios a través de plataformas tecnológicas; están algunos modos de transporte informal, como las mototaxis y también cuenta con una cantidad considerable de vehículos privados, como lo especificamos en la figura 17 del Parque Automotor, que corresponden a personas que viajan en auto y motocicleta.

No obstante, otros datos que permiten conocer parte de la dinámica de movilidad en el AMVA son aquellos recopilados por el DANE a través de la Encuesta de Transporte Urbano de Pasajeros (ETUP), que según esta para 2017, el parque automotor movilizó a aproximadamente 668 millones de pasajeros durante todo el año. De estos, más de 416 millones se movilizaron en Metro Cable, Metro y Metroplús, es decir, el 62% del total de pasajeros movilizadas. El 38% restante se movilizan en Transporte Público Tradicional, como buses, busetas, microbuses-colectivos y/o padrones. Esta encuesta difiere de los datos recolectados por la Encuesta Origen Destino, por razones metodológicas y por la periodicidad con la que se levantan ambos instrumentos.

Finalmente, es importante tener en cuenta que todos los planes y proyectos de movilidad que se contemplen para el AMVA deben estar enmarcados por el Plan Maestro de Movilidad diseñado en 2009. Este instrumento predictivo visualiza la planificación estratégica e integrada de los diferentes modos de transporte y del espacio público asociado, teniendo como base la Ley 105 de 1993, la cual establece que las áreas metropolitanas, deben formular planes de transporte en los territorios de su jurisdicción. Las herramientas que incluye este plan apoyarán la gestión hasta el año 2024.

2. Factores que condicionan la elección de los modos de transporte en el AMVA.

2.1 ¿Qué muestran los datos de la Encuesta Origen Destino?

En este segundo capítulo se abordará la forma en que viajan los habitantes del AMVA teniendo como referencia los datos proporcionados por la Encuesta Origen Destino 2017, la cual describe, inicialmente, datos de los hogares y moradores, seguido por el comportamiento general de los viajes de estos últimos, en los 10 municipios considerando los modos de transporte activos, privados y públicos. Posteriormente, se mostrará la distribución de los viajes teniendo en cuenta los diferentes factores socioeconómicos. Así pues, el análisis será discriminado por género, grupos etarios, nivel educativo, ocupación y posesión de vehículos. Esto permitirá tener un panorama más completo de la forma como realizan los viajes los habitantes del AMVA, lo que a su vez da mayor claridad sobre los resultados de las estimaciones que se verán en el capítulo 3, en la modelación de la demanda de transporte.

La EOD encuestó a 16.340 hogares en los cuales habitaban 52.470 personas, de las cuales se pudo obtener: las características de sus hogares, sus características socioeconómicas individuales y cada uno de los viajes realizados por estos en las últimas 24 horas. Estos tres módulos se organizaron en bases individuales que agrupan variables específicas.

2.1.1 Hogares

La base de datos denominada con las características de los hogares contiene 16.340 encuestas, que indagaron 73 variables. Todos los hogares estaban ubicados en alguna de las 66 macrozonas que conforman el AMVA. Del total de los hogares encuestados se observa que la mayor parte se realizaron en la ciudad de Medellín con un 49.19%, seguido de Bello con 17.8%

y en último lugar La Estrella con 1.3% del total. La tabla 4 contiene con más detalle la distribución de los hogares por municipios.

Tabla 4

Hogares encuestados por la EOD en el AMVA según municipios

Municipio del AMVA	Número de hogares	%
Medellín	8,038	49.19
Bello	2,908	17.8
Envigado	1,810	11.08
Itagüí	1,460	8.94
Barbosa	726	4.44
Copacabana	347	2.12
Caldas	311	1.9
Girardota	278	1.7
Sabaneta	249	1.52
La Estrella	213	1.3
Total	16,340	100

Nota. Elaboración de los autores con los datos de la Encuesta Origen Destino 2017

- Estrato e Ingresos

El 41% de los hogares encuestados manifestaron que su vivienda pertenecía al estrato socioeconómico 2, el 29% al estrato 3, el 13% estrato 1, mientras que a los estratos 4, 5 y 6 conforman el 16% restante.

En cuanto a ingresos, cerca del 71,48% de los hogares poseía ingresos inferiores a \$1.500.000. Solo un 5,5% de los hogares reportaba ingresos superiores a los \$3.500.000. Tal como se observa la tabla 5.

Tabla 5*Hogares encuestados por la EOD en el AMVA según ingresos.*

Ingreso por hogar	Número de hogares	%
Menor a 738.000	4709	32.05
\$738.000-1'500.000	5,793	39.43
1'500.001-2'250.000	2526	17.19
2'500.001-3'500.000	856	5.83
3'501.000-5'000.000	420	2.86
5'000.001-7'000.000	193	1.31
Más de 7'000.000	195	1.33
Total	14692	100

Nota. Elaboración de los autores con los datos de la Encuesta Origen Destino 2017

Al cruzar los resultados de estratos e ingresos por hogares, se pueden observar las diferencias existentes en los ingresos a nivel interno de cada estrato. La tabla 6. muestra esta relación en el AMVA a partir de los resultados de la EOD, y evidencia, por ejemplo, que el 54% de los hogares que ganan menos de 738 mil pesos al mes, pertenecen al estrato 2 o que el 80% de los hogares que ganan más de 7 millones de pesos, pertenecen a los estratos 5 y 6, pero también este cruce permite observar que en todos los estratos existen prácticamente, en mayor o menor medida, hogares de todos los niveles de ingresos.

Tabla 6*Hogares encuestados por la EOD en el AMVA según ingresos y estratos.*

Ingresos por hogar / Estrato	1	2	3	4	5	6
Menor a 738.000	22%	54%	20%	3%	0%	0%
\$738.000-1'500.000	12%	47%	33%	6%	2%	0%
1'500.001-2'250.000	5%	29%	42%	17%	7%	1%
2'500.001-3'500.000	2%	18%	33%	23%	22%	3%
3'501.000-5'000.000	0%	7%	19%	29%	37%	8%
5'000.001-7'000.000	1%	5%	13%	20%	45%	17%
Más de 7'000.000	1%	4%	9%	6%	54%	26%

Nota. Elaboración de los autores con los datos de la Encuesta Origen Destino 2017

Si analizamos los hogares por el tipo de vivienda que tienen, se puede observar que el 60% de las viviendas son propias, el 36% son alquiladas y un 4% son proporcionadas por otros. Asimismo, el 4% de los hogares posee uno o más vehículos no motorizados, el 39% uno o más vehículos motorizados y el restante 57% responde no tener un vehículo en su hogar. Finalmente, un 22% de los hogares posee celdas de parqueo propia y el 3% alquilada.

2.1.2 Habitantes

La segunda base de datos contiene la información con las características de los moradores y alcanzó a 52.469 personas que integran los hogares encuestados. Estas características de las personas se midieron en 87 variables.

Dentro de los resultados más relevantes extraídos de las características de los moradores fue que la edad promedio era de 37 años. Al mismo tiempo, se encontró que el 29% del total de

encuestados tienen 51 años o más, el 21% tienen entre 36 y 50 años, y, además, un 14% tiene una edad menor a 13 años. Estos resultados se reflejan a continuación tabla 7.

Tabla 7

Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según rangos de edad

Rangos de edad	Número de personas	%
menos de 13 años	7,263	13.84
14-20 años	5,746	10.95
21-25 años	4,904	9.35
26-35 años	8,472	16.15
36-50 años	10,97	20.91
51 años o más	15,105	28.79
Total	52,46	100

Nota. Elaboración de los autores con los datos de la Encuesta Origen Destino 2017

En cuanto al género, los resultados como lo indica la tabla 8 muestran que el 47% de los encuestados, eran hombres y el 53% eran mujeres.

Tabla 8

Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según género

Género	Número	%
Hombre	2,441	46.58
Mujer	28,028	53.42
Total	52.469	100

Nota. Elaboración de los autores con los datos de la Encuesta Origen Destino 2017

Acorde a la tabla 9, el nivel máximo de escolaridad alcanzado se reparte en un 65% aproximadamente en Educación Básica y Media, las personas con al menos un pregrado alcanzan el 22% del total, aquellas con Posgrado el 2% y las que no poseen ninguna el 12%.

Tabla 9

Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según nivel de escolaridad

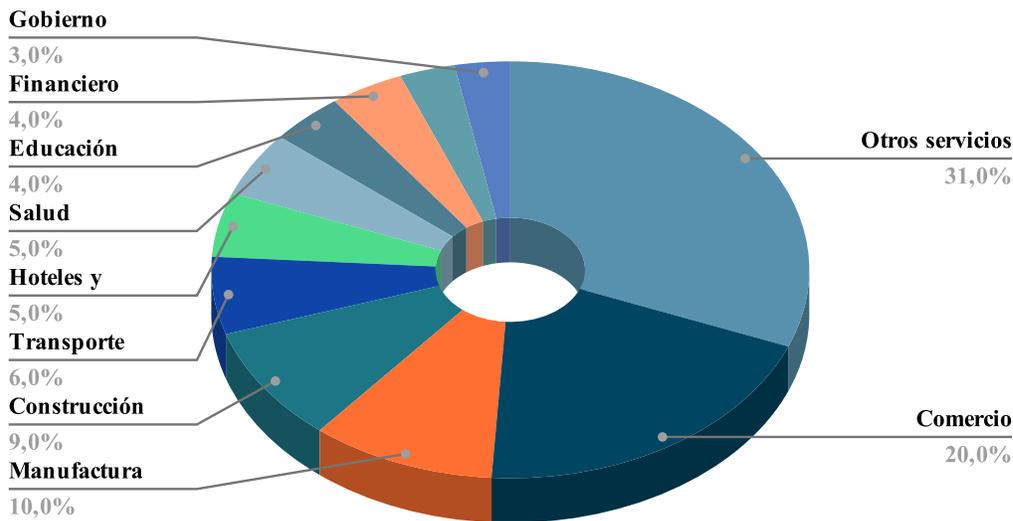
Nivel máximo de escolaridad	Número de personas	%
Ninguno	6,215	11.93
Educación Básica	16,791	32.23
Educación Media	16,927	32.49
Educación Superior	11,268	21.63
Posgrado	900	1.73
Total	52.101	100

Nota. Elaboración de los autores con los datos de la Encuesta Origen Destino 2017

Por último, las actividades de las personas son principalmente, estudiar y trabajar (62,53%). Los empleados, ya sea dependientes o independientes, se encuentran en un 40,45% de la muestra y sus sectores laborales se representan en la figura 10.

Figura 10

Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según sector laboral



Nota. Elaboración de los autores con los datos de la Encuesta Origen Destino 2017

Según la EOD, el 31% de los trabajadores encuestados, pertenecen al sector de Otros servicios, un 20% están en el sector de comercio, un 10% en la Industria Manufacturera y un 9% en la Construcción, siendo estos cuatro los de mayor participación.

Tabla 10

Personas encuestadas por la EOD en el AMVA según situación de empleo

Empleados	Porcentaje
No	59,55%
Sí	40,45%

Nota. Elaboración de los autores con los datos de la Encuesta Origen Destino 2017

Con respecto a los estudiantes representan el 22,08% de los moradores, que equivalen a cerca de 11.584 encuestados.

Tabla 11

Personas encuestadas por la EOD en el AMVA que son estudiantes

Estudiantes	Porcentaje
No	77,92%
Sí	22,08%

Nota. Elaboración de los autores con los datos de la Encuesta Origen Destino 2017

2.1.3 Viajes

Los viajes realizados por los moradores representados en la base de “Viajes”, cuyos datos recogen 87.613 observaciones de viajes realizados desde y hacia el AMVA. Las variables permiten identificar los puntos de origen y destinos a través de la georreferenciación de las zonas SIT, captura el tiempo de viaje y describe los modos de transporte usados para cada una de las rutas que eligen. En esta base de datos se pueden conocer las decisiones de viajes de los individuos en un periodo determinado: un individuo después de haber determinado cuántos

viajes va a realizar, identifica el destino d , para luego seleccionar el modo de transporte m con su respectiva ruta r . Las rutas pueden estar conformadas por más de una etapa, lo que implica el uso de dos o más modos de transporte diferentes; la EOD muestra que un viaje puede requerir hasta 5 etapas, omitiendo las caminatas iniciales y finales, de acuerdo con la ruta seleccionada.

La EOD evidenció además que en el AMVA se realizaron alrededor de 6 millones 132 mil viajes diarios durante el 2017. El 46% correspondía a viajes en Transporte Público, el 26% en Transporte Privado, y el 29% en Transporte no motorizado, es decir, a pie o en bicicleta, lo que también se conoce como movilidad activa. Estos últimos representan uno de los cambios más importantes presentados en los hábitos de las personas y que se incluyen en la agenda pública, ya que se consideran modos de transporte sostenible.

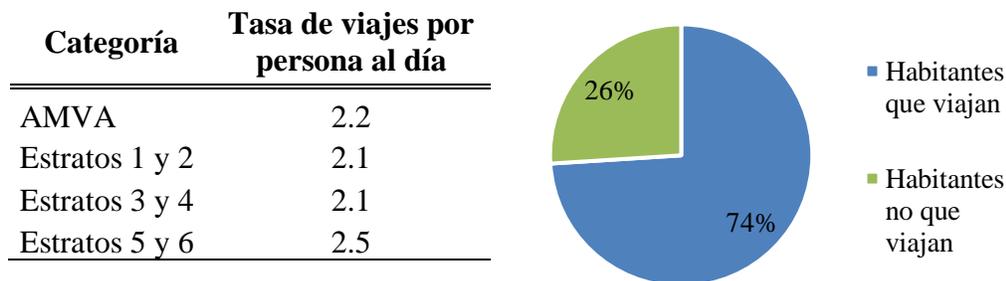
Los datos de contexto concluyen que en los últimos años hubo un gran crecimiento en la congestión vial de la red de transporte del AMVA debido a que el número de viajes realizados creció más de 25% entre 2005 y 2017, puesto que pasaron de 4 millones 875 mil a los 6 millones 132 mil viajes que capturó la EOD 2017. Esto se puede explicar como un resultado del proceso de motorización del transporte y el aumento de la actividad económica de la ciudad de Medellín, que es la capital del departamento de Antioquia, que la convierte en el principal municipio del Área Metropolitana. La congestión trajo como consecuencia que el tiempo promedio de un desplazamiento en el AMVA haya incrementado un 44% en los últimos doce años, pasando de 25 a 36 minutos.

Tabla 12*Principales hallazgos en los viajes del AMVA según las EOD 2005, 2012 y 2017*

Descripción / Año	2005	2012	2017
Viajes totales	4,875,000	5,614,000	6,132,000
% de personas que viajan	65%	69%	74%
Tiempo promedio de viaje	25	33	36

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Otro hallazgo importante que arroja esta encuesta es que un habitante del AMVA permanece 420 horas al año viajando, que es equivalente a 51 días (en horario laboral). Cada persona realizaba en promedio 2,2 viajes al día, y desagregado por estratos, son las personas de los estratos 5 y 6 son los que más viajan (2,5 viajes por día).

Figura 11*Tasa de viajes diarios por persona y porcentaje de personas que viajan*

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Sobre el vehículo privado, las cifras arrojan que el 18% de los habitantes del AMVA tienen acceso a estos. En los últimos doce años se pasó de una tasa de tenencia de 30 motos y 52 autos por cada mil habitantes a una de 81 motos y 66 autos. El panorama de la tenencia de vehículos por municipios según los datos de la EOD, destacan Barbosa como aquel con mayor proporción de motocicletas del total de vehículos en los hogares, Sabaneta, donde la mayor

proporción corresponde a automóviles y Caldas, donde la mayor proporción de vehículos son bicicletas.

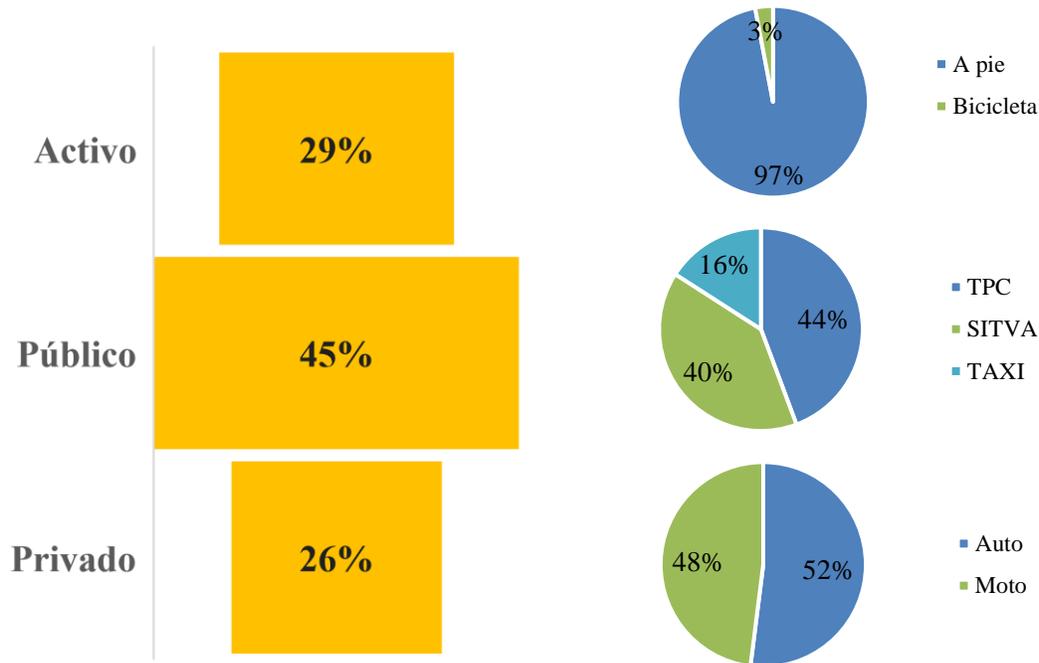
Otro punto, tiene que ver con la proporción viajes realizados en transporte privado en el AMVA, entre el año 2005 y 2017 aumentaron en un 229% para el caso de los viajes en moto y en un 39% para los realizados en auto. En síntesis, el transporte privado explica el 26% de los viajes realizados en 2017.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede confirmar que existe un alto porcentaje de uso del automóvil particular tanto si la persona es quien conduce como si es solo acompañante. Con relación a las motocicletas, persiste un alto uso de estas en municipios como Barbosa, Girardota, Caldas, La Estrella y Bello.

La participación del transporte público con un 45% del total de los viajes, es mayor a la del transporte privado, que incluso aumentó significativamente en el mismo periodo por los cambios surtidos en el Sistema de Transporte Público al cual se sumaron 3 nuevos modos de transporte: Metroplús, Tranvía y las Bicicleta Públicas (Encicla). Adicionalmente, la aparición de las plataformas tecnológicas (Uber, Cabify, etc.) que cambian la dinámica en la oferta de los servicios de transporte urbano, puesto que ofrecen a los usuarios elementos que les facilitan el acceso a los servicios de transporte, aunque con un marco regulatorio no tan claro, por lo que se consideran estas plataformas desde el punto de vista legal como transporte informal. La entrada al mercado de estos 4 modos de transporte (3 públicos y, 1 informal que al final también cumple con un rol de servicio público) representan un aumento del 218% en la partición modal. Por

último, el transporte activo explica el restante 29%. La figura 12 muestra la partición modal resultante de la EOD 2017 con los datos ya mencionados de transporte privado, público y activo.

Figura 12
Partición modal en el AMVA según la EOD 2017

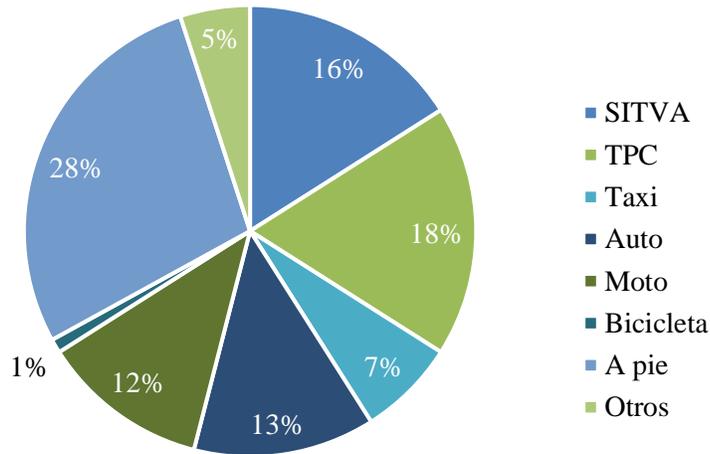


Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Si desagregamos y recategorizamos la partición modal para tener más detalles de cada modo de transporte, se puede observar que los viajes a pie que hacen parte del transporte activo representan la mayor proporción en la partición modal con un 28% como se observa en la figura 13. A estos le siguen los viajes en TPC con un 18% y luego los realizados en el SITVA con un 16%. Los viajes en auto representan el 13% y los que se efectuaron en moto el 12%.

Figura 13

Partición modal en el AMVA

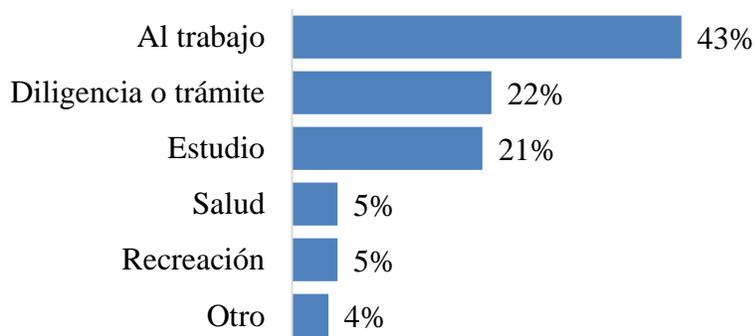


Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Otra variable importante que explica la dinámica de los viajes son el motivo del viaje de las personas. Los resultados arrojaron que el 64% de los viajes eran motivados por cuestiones de trabajo y estudio, que se consideran “viajes obligados”. Estos resultados se muestran con mayor detalle en la figura 14 donde se puede observar los viajes realizados clasificados según la actividad de origen y destino de este.

Figura 14

Porcentaje de viajes en el AMVA según el motivo de viaje



Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Es importante tener en cuenta que los viajes cuyo motivo era hacer una diligencia o trámite, representan 1 de cada 5 viajes realizados en el AMVA. Su proporción es importante y estos viajes tienen la característica de que no se ajustan de forma significativa a un horario específico, como sí lo son los viajes por estudio o trabajo.

Figura 15

Porcentaje de orígenes de viajes del total según comunas de Medellín y municipios del AMVA

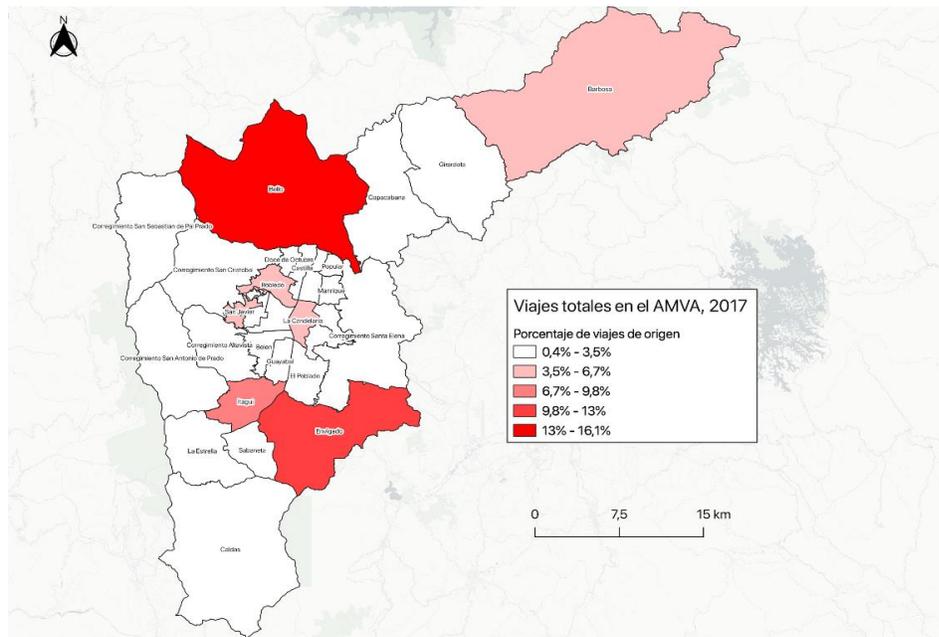
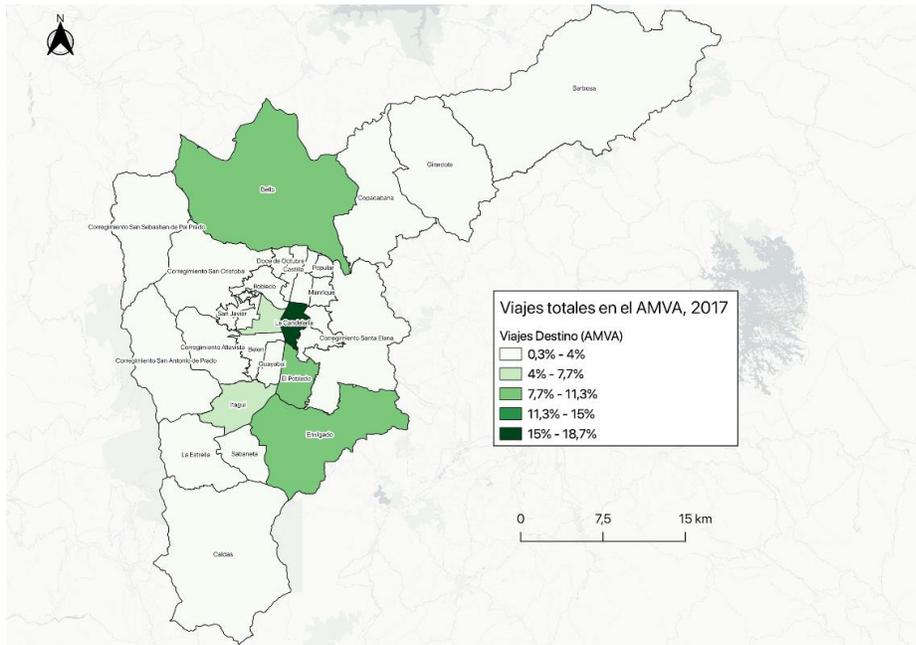


Figura 16

Porcentaje de destinos de viajes del total según comunas de Medellín y municipios del AMVA

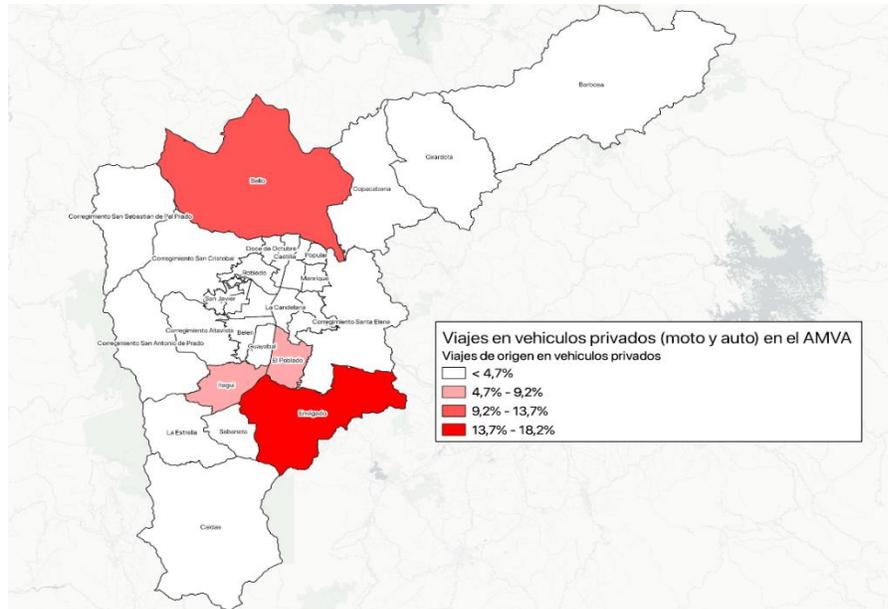


Nota. Las figuras 15 y 16 fueron elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Las figuras 15 y 16. contienen dos mapas, los cuales muestran cómo se distribuyen los viajes por comunas y municipios del AMVA tanto por origen como por destino. Los dos mapas que están especificados con una leyenda indican que, a mayor concentración de color en una zona del mapa, es porque es mayor el porcentaje. Por ejemplo, la figura 15 indica en qué comunas o municipios del AMVA se originan la mayoría de los viajes. En este se pueden identificar 7 lugares donde hay mayor porcentaje de viajes originados: los municipios de Envigado, Bello, Itagüí y Barbosa, y dentro de Medellín se destacan las comunas de La Candelaria, Robledo y San Javier. Por otra parte, los lugares que concentran los mayores puntos de destino de los viajes son 6, principalmente: La Candelaria, Envigado, El Poblado, Bello, Itagüí y Laureles-estadio.

Figura 17

Porcentaje de viajes en auto particular según comunas de Medellín y municipios de origen en el AMVA.

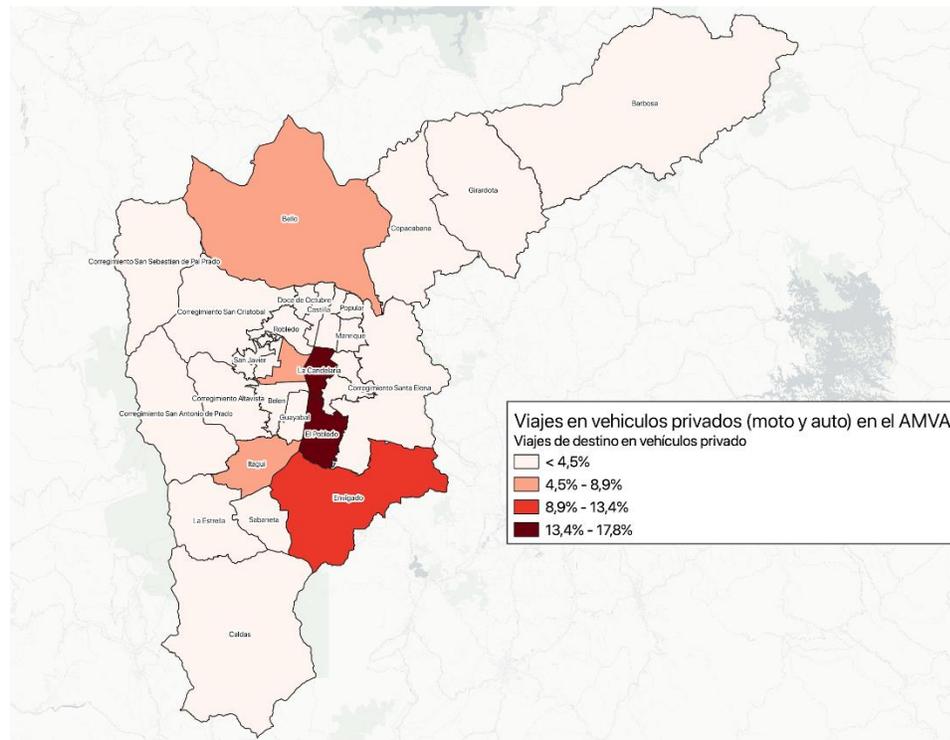


Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

En relación con los viajes en vehículos privados motorizados, en la figura 17 también se realiza el ejercicio de determinar desde qué comunas y/o corregimientos se originan el mayor porcentaje de viajes en estos. Se resaltan aquellas ubicadas en la parte suroriental del AMVA, donde se ubica Envigado e Itagüí, en Medellín la comuna de El Poblado, y un poco más al norte el municipio de Bello.

Figura 18

Porcentaje de viajes en auto particular según comunas de Medellín y municipios de destino en el AMVA.

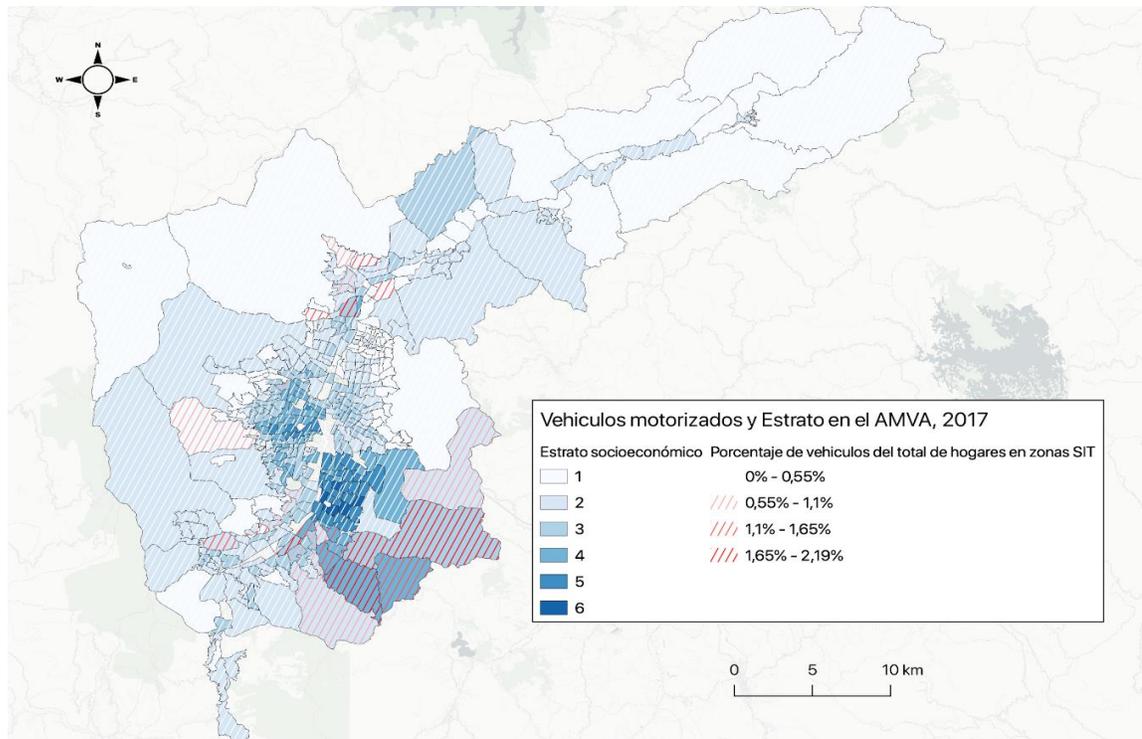


Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Ahora bien, si se analizan los viajes en transporte privado según el destino de estos como en la figura 18, destaca la comuna de La Candelaria, que recibe cerca del 18% de los viajes, El Poblado con el 17% y la comuna de Laureles-estadio con 8%, todas en la ciudad de Medellín. También resaltar otros municipios que coinciden con las de mayor porcentaje de orígenes de viajes en los modos privados, tal es el caso de Envigado que es el destino de aproximadamente el 10% de los viajes, Itagüí y Bello, destinos del 7% y el 6% de los viajes en modos privados motorizados respectivamente.

Figura 19

Porcentaje de tenencia de vehículos motorizados y estratos socioeconómicos por zonas SIT en el AMVA



Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

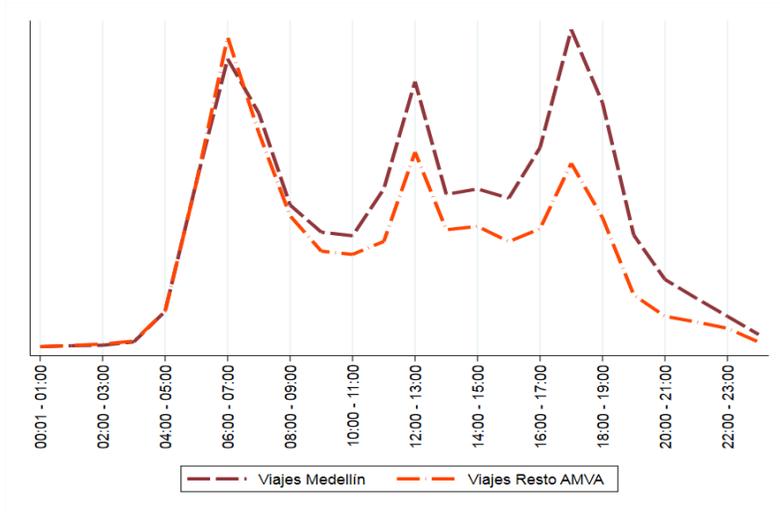
La figura 19 contiene también otro análisis espacial que considera relevante por el tipo de variables que se cruzan. Se trata de un mapa con el porcentaje de vehículos motorizados con respecto al total comparado con los estratos representativos por zonas SIT. Las zonas con tonos más oscuros de color azul serán aquellas de mayor estrato, las que tengan las líneas rojas de mayor grosor, son las que mayor porcentaje de vehículos tienen. El mapa si bien arroja resultados interesantes, no son del todo como se esperaban, ya que las zonas con mayor estrato no concentran necesariamente los mayores porcentajes de tenencia de vehículo. Se presume que puede deberse por limitaciones de la agregación de los estratos, puesto que es una variable que

pertenece a las viviendas, y cada zona SIT concentra numerosas viviendas de cada estrato, aunque no en las mismas proporciones, es decir, hay zonas donde claramente la mayoría son de estrato 1, 2 o 3 y otras donde la mayoría son 4, 5 o 6. Retomando, lo que muestra la figura 19, se observa por ejemplo zonas SIT que pertenecen al municipio de Envigado (parte suroriental del mapa) con líneas rojas de mayor grosor, y estas zonas coinciden con estratos altos, por lo que allí se cumple relación esperada. No obstante, las zonas SIT que pertenecen al municipio de Bello (Zona norte del AMVA), también tienen líneas rojas de mayor grosor y los colores de los estratos corresponden a niveles bajos, por lo que allí la relación pasa a ser negativa. El mapa permite hacer un análisis interesante, pero no está exento de ser mejorado para lograr un mejor análisis espacial de la tenencia de vehículos con respecto al estrato.

Acerca de la distribución del total de viajes según rangos horarios, se hizo la separación de Medellín, como punto de mayor convergencia de los viajes y con la mayor cantidad de vías de todo el AMVA del resto de municipios. Se pueden observar tres picos tanto para Medellín como para el resto del AMVA, el primero se da entre las 6 y 7 de la mañana, siendo éste ligeramente grande por fuera de Medellín; el segundo ocurre entre las 12 y la 1 de la tarde, con un pico claramente mayor en Medellín, y el tercero se da entre las 5 y las 6 de la tarde, siendo aún mayor en Medellín (que es el municipio de mayor recepción de viajes) pero que se podría explicar, como se puede apreciar en la figura 20, por ser este el rango horario cuando la mayor parte de la población regresa a su casa, es decir, que los trabajadores que residen en los municipios pero trabajan en Medellín, retornan a sus casas provocando que el pico de Medellín sea aún mayor.

Figura 20

Distribución total de viajes en Medellín y en el AMVA (sin Medellín) por rango horario.

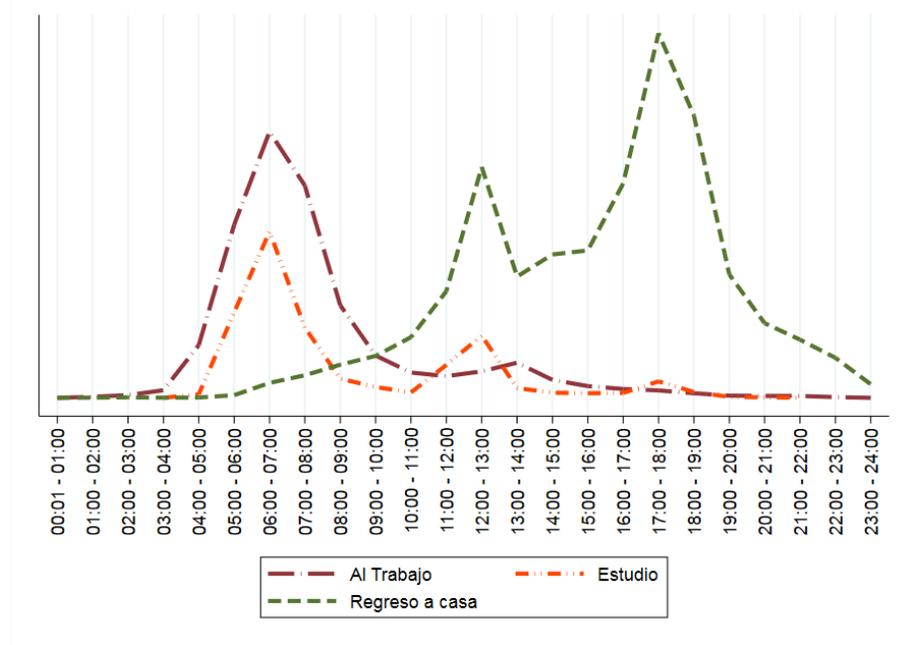


Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

La figura 21, indica como es la distribución del total de viajes por rango horario, pero teniendo en cuenta el motivo del viaje en el AMVA. Esta gráfica, permite observar que en el rango de horario que hay entre las 6 y las 7 de la mañana, la mayoría de los viajes son motivados por el trabajo y el estudio, es decir, los viajes obligados. Mientras que en los horarios donde se dan los dos picos ya mencionados, el motivo que predomina en la mayoría de los viajes es el regreso a casa, es decir, las personas culminan la actividad que los había motivado a hacer el desplazamiento e inician su regreso a casa.

Figura 21

Distribución total de viajes según motivo de viaje por rango horario en el AMVA

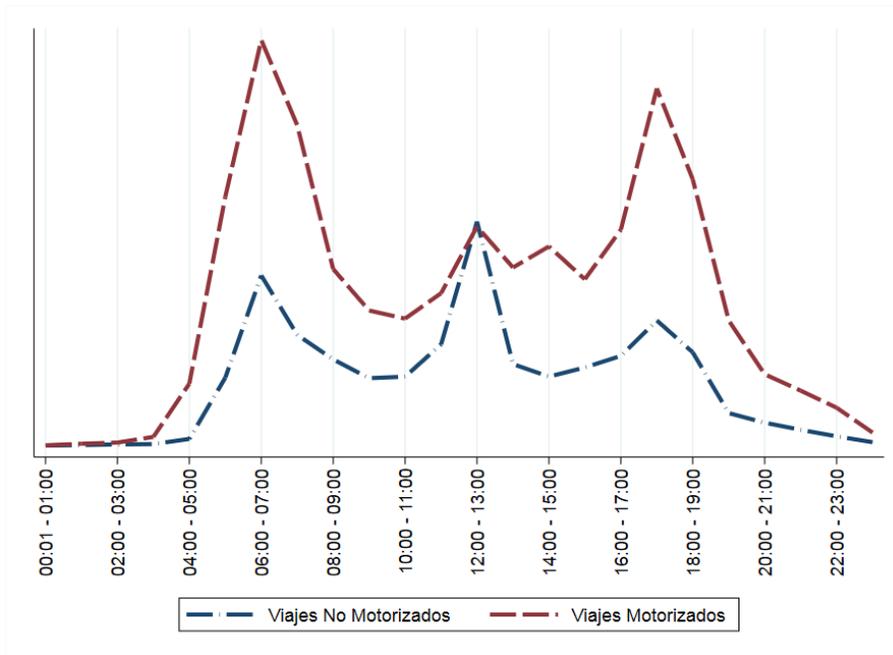


Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Finalmente, la figura 22 contiene la gráfica con la distribución del total de viajes considerando si el vehículo utilizado para el desplazamiento era o no motorizado. En los picos de la mañana y de la tarde, los viajes motorizados eran los que claramente tenían mayor porcentaje de viajes con respecto al total, sin embargo, en el pico del mediodía, los viajes no motorizados eran los que tenían ligeramente mayor porcentaje de viajes.

Figura 22

Distribución de los viajes por tipo de vehículo (motorizados y no motorizados) por rango horario en el AMVA



Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

3. Relaciones cuantitativas entre los factores analizados, los modos de transporte y sus efectos sobre la demanda de transporte en el AMVA

A continuación, se presenta el desarrollo econométrico sobre la demanda de transporte en el AMVA haciendo uso de los datos de la Encuesta Origen Destino 2017. De este modo, se analizan los factores que condicionan la elección modal de los individuos, la estimación por medio de un modelo Logit multinomial, las pruebas necesarias de validación del modelo, las interpretaciones de los resultados, los efectos marginales de cada variable y un análisis económico. Finalmente, se logrará identificar la significancia y el grado de incidencia que tenga cada variable independiente sobre la dependiente, que llevarán a las conclusiones y recomendaciones considerando la elección modal en el AMVA.

3.1 Modelo Logit Multinomial

Los modelos Multinomiales introducidos por McFadden en 1974 son herramientas de análisis que, con base en el supuesto de que la variable categórica de interés sigue una distribución Multinomial, utiliza el método de Máxima Verosimilitud para estimar las probabilidades asociadas a cada elección, dadas las características particulares de los individuos o los atributos de las elecciones, resumidas en los regresores.

Matemáticamente, el modelo Logit multinomial se puede representar de la siguiente manera:

$$P_i = \frac{\exp(\beta \bar{U}_i)}{\sum_j \exp(\beta \bar{U}_j)} \quad (6)$$

No obstante, según Ortúzar (2012) La forma más general del modelo, y que se utiliza en la práctica, es una en la que se acepta que no necesariamente todos los individuos tienen disponibles todas las alternativas. En este caso, el denominador del modelo cambia:

$$\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta \bar{U}_j) \quad (7)$$

Igualmente, Ortúzar (2012) menciona que la propiedad más importante de este modelo, y que ha sido una importante causa de su fama e infamia, es el axioma o propiedad de “independencia de alternativas irrelevantes” (IAA), que se expresa en que el cociente es una constante, independiente de las utilidades del resto de las alternativas:

$$\frac{P_i}{P_j} = \exp\{\beta(\bar{U}_i - \bar{U}_j)\} \quad (8)$$

En un principio esto fue considerado ventajoso, ya que permitía tratar el problema de predecir el impacto de opciones nuevas a futuro (esto es, que no estaban presentes durante la estimación), sin recalibrar el modelo (solo conociendo sus atributos x_i). Sin embargo, hoy pesa más el hecho de que el modelo falla si algunas alternativas están correlacionadas, esto es, si algunos grupos de alternativas son más parecidos entre sí que otros. Un caso muy ilustrativo es el del bus azul-bus rojo (Mayberry, 1973).

3.2 Método de la Máxima Verosimilitud

El método más común para estimar parámetros es el método de máxima verosimilitud. Sea X_1, \dots, X_n independientes e idénticamente distribuidas con función de densidad de probabilidad $p(x; \theta)$ entonces:

La función de verosimilitud se define como:

$$\mathcal{L}(\theta) = \prod_{i=1}^n p(x_i; \theta) \quad (9)$$

y la log-verosimilitud se define como:

$$l(\theta) = \mathcal{L}(\theta) = \sum_{i=1}^n \log p(x_i; \theta) \quad (10)$$

La función de verosimilitud no es más que la densidad conjunta de los datos, con la diferencia de que la tratamos como función del parámetro θ . Por tanto: $\mathcal{L}: \theta \rightarrow [0, \infty)$, en general $\mathcal{L}(\theta)$ no integra uno respecto a θ .

El estimador de máxima verosimilitud es el valor de θ que maximiza $\mathcal{L}(\theta)$.

El máximo de $l(\theta)$ se alcanza en el mismo lugar que el máximo de $\mathcal{L}(\theta)$, por lo que maximizar la log-verosimilitud es equivalente a maximizar la verosimilitud.

Bajo ciertas condiciones del modelo, el estimador de máxima verosimilitud $\hat{\theta}$ tiene propiedades deseables, las principales son:

Consistencia: $\hat{\theta} \xrightarrow{P} \theta$ (converge en probabilidad), donde θ es el verdadero valor del parámetro.

Equivariante: Si $\hat{\theta}$ es el estimador de máxima verosimilitud de θ , entonces $g(\hat{\theta})$ es el estimador de máxima verosimilitud de $g(\theta)$.

3.3 Pruebas de contraste y validación hipótesis

De acuerdo con Mejía & Presa (2018) la estimación del modelo permite plantear las hipótesis que contrasta si el conjunto de coeficientes $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i)$ es nulo; es decir:

$H_0: \beta = 0$ Las variables x no influyen en la variable Y.

$H_1: \beta \neq 0$ Las variables x influyen en la variable Y.

Las pruebas de contraste son, pseudo-R2 de McFadden y el coeficiente de correlación de Spearman, para descartar correlación entre las variables cuantitativas. Finalmente se harán las pruebas para confirmar que se cumpla con la propiedad de la Independencia de las Alternativas Irrelevantes (IIA, por el inglés).

3.3.1 Razón de Contraste de Verosimilitud

La prueba de razón de verosimilitud o en inglés, likelihood ratio (LR) evalúa la bondad de ajuste de dos modelos estadísticos en competencia, basándose en la razón de sus probabilidades, específicamente uno encontrado por maximización en todo el espacio del parámetro y otro encontrado después de imponer alguna restricción (eliminar una o más variables, por ejemplo). Si la restricción (es decir, la hipótesis nula) está respaldada por los datos observados, las dos probabilidades no deberían diferir más que en un error de muestreo. Por lo tanto, la prueba de razón de verosimilitud muestra si esta razón es significativamente diferente de uno, o de manera equivalente, si su logaritmo natural es significativamente diferente de cero.

3.3.2 Pseudo-R2 de McFadden

Es una medida de bondad de ajuste propuesta por McFadden para los modelos Logit. Se define de la siguiente manera:

$$Pseudo R^2 = 1 - \frac{\log(\hat{\beta})}{\log(\beta_0)} \quad (11)$$

Donde $\log(\hat{\beta})$ es el logaritmo de la función de verosimilitud para el modelo estimado y $\log(\beta_0)$ el de un modelo sólo con término constante. Como $|\log(\hat{\beta})| < |\log(\beta_0)|$, el valor del Pseudo R2 está entre 0 y 1

Una bondad de ajuste usando el pseudo r-cuadrado (ρ^2) se utiliza para ajustar el modelo general. McFadden sugirió que valores de pseudo-R2 de entre 0,2 y 0,4 deberían ser tomados para representar un muy buen ajuste del modelo, como cita Lee (2013).

3.3.3 Coeficiente de correlación de Spearman

El Coeficiente de correlación de Spearman, es una medida que permite determinar el grado de correlación que existe entre dos variables. Se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Coeficiente de Correlación de Spearman} = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N_2 - 1)} \quad (12)$$

donde D es la diferencia entre los correspondientes estadísticos de orden de $x - y$. N es el número de parejas de datos.

3.3.4 Prueba de independencia de alternativas irrelevantes (IIA)

Como lo mencionan Dhau et al. (2017) el supuesto de independencia de alternativas irrelevantes se desprende de la independencia de los errores y, está presente en todas las variantes de los modelos basados en la distribución logística y, a su vez, tiene gran incidencia en los resultados. Para evaluar la validez de este supuesto y la correcta especificación del modelo suele realizarse la prueba de Hausman y McFadden (HM) (1984) o el de Small y Hsiao (SH) (1985). En particular, estas pruebas comparan los resultados de la estimación del modelo que

incluye todas las alternativas con los resultados de una estimación restringida a un subconjunto de alternativas.

Además de lo anterior, Dhau et al. (2017) mencionan que los autores J. Scott y Jeremy Freese no recomiendan su uso y sugieren precaución en caso de emplearlos como medio de evaluación. En particular, cuestionan la amplia cantidad de veces que los modelos y sus diversas variantes a partir de las diversas versiones restringidas posibles reportan resultados contradictorios. En su trabajo la mayoría de las pruebas SH no rechazaron la hipótesis probabilidades independientes de otras alternativas, los HM sí lo hicieron. En el presente estudio también se da el mismo caso como lo veremos más adelante en la sección con los resultados.

3.4 Datos del modelo

La base de datos que fundamenta las estimaciones se generó a partir de un proceso de depuración e ingeniería de datos. Inicialmente se contaba con una base de datos de 87.613 viajes realizados por los moradores del AMVA, pero luego se establecieron unos criterios de selección de las observaciones, dado que existían viajes que, si bien tenían como origen el AMVA, estos tenían como destino un punto fuera de este, por lo que no cumplen con la delimitación espacial de esta investigación. De esta manera y con base en la teoría de la Economía del Transporte, se eliminaron observaciones de la base de datos que tenían por motivo de viaje el regreso a casa. Después, se seleccionó solamente el primer viaje que realiza en el día el individuo, de tal forma que los habitantes solo realizan un viaje y eligen un solo modo (omiten etapas).

Otro criterio importante era establecer la etapa del viaje que determinaba el modo principal en que viajaban los habitantes. La EOD recopiló datos sobre las diferentes etapas que le permiten al individuo completar su viaje, lo que incluía la caminata necesaria que hacen muchas

personas desde su hogar, para servirse luego de otro modo de transporte como el metro, el bus o el SITVA. Las personas que realizaron un viaje a pie en la etapa 1, para luego en la etapa 2 tomar otro modo, se les hace una sustitución, es decir, su modo principal sería aquel del que se están sirviendo con la caminata. Se seleccionó el modo escogido por los individuos en la etapa 1 como el modo principal, debido a que en esta etapa es donde se concentraron la mayor cantidad de viajes.

Finalmente, el modelo no incluye los viajes a pie que tenían como distancia una o dos cuadras, aquellos con una duración de viaje inferior a 5 minutos y superior a 120 minutos. De esa forma, la base del modelo resultante posee los viajes que realizaron 33.065 individuos.

3.5 Estadísticas descriptivas de los datos

A continuación, se presentan las estadísticas descriptivas de las variables que se utilizarán en la estimación del modelo. Estas se muestran en la tabla 13 que señala la variable dependiente denominada Modo, y cuenta con 8 categorías o modos de transporte: a pie, taxi, Sistema Integrado del Valle de Aburrá (SITVA), metro, auto particular, moto, bus y bicicleta. La primera variable independiente, siguiendo el orden es el tiempo promedio de desplazamiento de cada viaje realizado, una variable cuantitativa medida en minutos. La edad de cada uno de los individuos una media de 36,5 años, y va desde los 1 a los 99 años. El género, es la tercera variable, y por su naturaleza categórica sería del tipo cualitativa. Esta se divide en 1 para hombres y cero en otro caso. El nivel de escolaridad, también categórica toma 5 valores: ningún nivel educativo, Educación Básica, Educación Media, Educación Superior y Posgrado. El ingreso por estatus del hogar es también categórico y toma 3 valores: ingresos bajos, ingresos medios e ingresos altos. Y, por último, la variable Vehículo motorizado en el hogar, está

compuesta por 3 categorías, hogares sin vehículos motorizados, los que tienen uno y los que tienen dos o más.

Tabla 13

Datos para el modelo y Estadísticas descriptivas (AMVA)

Variable	Obs	Media	Desv. Estd.	Descripción categorías dummies	Min	Máx.
Modo	33,065	N/A	N/A	Categoría 8 modos de transporte	1	8
Tiempo promedio de desplazamiento	33,065	35,502	23,111	N/A	5	120
Edad	33,065	36,514	18,884	N/A	1	99
Género	33,065	N/A	N/A	Dicotómica 1 Hombre 0 Otro caso	0	1
Nivel de escolaridad máximo alcanzado	33,065	N/A	N/A	Dicotómica para cada nivel educativo	1	5
Ingreso por estatus del hogar	33,065	N/A	N/A	Dicotómica para cada grupo de ingresos	1	3
Vehículo motorizado en el hogar	33,065	N/A	N/A	Dicotómica para los grupos de tenencia de vehículos	1	3

Nota. Elaboración de los autores

Si bien las variables cualitativas, tienen distintas categorías, al final se procesan con Stata como variables dicotómicas, siendo por ejemplo 0 para el nivel de escolaridad ningún nivel educativo y 1 cada para dummy de nivel educativo, es decir, básica, media, superior y posgrado. Lo mismo se aplicó para ingresos por estatus, siendo para cada dummy 0 el ingreso bajo y para vehículos motorizados en el hogar 0 para ningún vehículo. En síntesis, las categorías de las variables cualitativas son dummies dicotómicas que tienen como categoría base aquella con 0, esto se evidenciará mejor en los resultados de las estimaciones.

Con respecto a la variable dependiente, se halló la proporción de personas en el AMVA que utilizan cada uno de los 8 modos de transporte considerados, tal como lo ilustra la tabla 14. Esta muestra que el modo de transporte A pie es utilizado por el 30,4% de las personas de la base del modelo, siendo este el modo con mayor participación. Le sigue el modo Bus, con el 22,24% de la participación. La moto y el auto particular poseen el 12,9% y el 12,4% de la participación respectivamente. Metro posee el 4,7%, Taxi el 4,0% y finalmente Bicicleta, el 1,1%.

Tabla 14

Número y porcentaje de personas en la base que utilizan los modos de transporte considerados

Modos de transporte	Número de observaciones	%
A pie	10,052	30.4
Bus	7,355	22.24
Moto	4,277	12.94
Auto Particular	4,094	12.38
SITVA	4,032	12.19
Metro	1,556	4.71
Taxi	1,326	4.01
Bicicleta	373	1.13
Total	33,065	100

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA

2017

El modo a pie tiene gran participación, una hipótesis es que esto obedece en parte a aquellas caminatas que realizan muchas personas para finalmente acceder a otro de los modos de transporte del AMVA, pero eso no es motivo de esta investigación.

Tabla 15*Frecuencias y porcentajes de las variables categóricas del modelo*

Género	Frecuencia	%
Hombres	17,090	51.69
Mujeres	15,975	48.31
Total	33,065	100

Nivel de escolaridad	Frecuencia	%
Ninguno	2,469	7.47
Educación Básica	9,422	28.5
Educación Media	11,363	34.37
Educación Superior	9,026	27.3
Posgrado	785	2.37
Total	33,065	100

Ingreso por estatus del Hogar	Frecuencia	%
Bajo	20,567	62.2
Medio	10,041	30.37
Alto	2457	7.43
Total	33,065	100

Vehículo Motorizado	Frecuencia	%
0	18,233	55.14
1	10,637	32.17
Dos o más	4195	12.69
Total	33,065	100

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

En la tabla 15 se muestran los resultados de las proporciones y las frecuencias para cada una de las variables categóricas. Por género, se tiene que el 52% de las personas en la base del modelo son hombres y el 48% son mujeres aproximadamente. Por nivel máximo de escolaridad, la mayor participación la tienen los que tienen hasta Educación Media (34%), es decir, los bachilleres; seguido de las personas que poseen hasta Educación Básica (hasta noveno grado) con un 28,5%; las que tienen educación superior con un 27%. Finalmente, los que no tienen ningún tipo de educación, representan el 7% del total de la base y los que tienen posgrado el 2%. Por nivel de ingresos de los hogares, el 62% de los encuestados de la base del modelo, viven en hogares de ingresos bajos. el 30% pertenece a hogares de ingresos medios y el 7% a hogares de ingresos altos. Y, por último, con respecto a la tenencia de vehículos motorizados en el hogar, en

el 55% de los hogares de los encuestados de la base del modelo no hay vehículos motorizados, el 32% hay uno y en el 3% hay dos o más.

Al realizar un análisis cruzado entre el género y los modos de transporte como se puede apreciar en la tabla 16 se observa, por ejemplo, en el modo de transporte a pie, el 53% son mujeres. Con la bicicleta, el resultado obtenido es que el 90% de los encuestados de la base del modelo son hombres, mientras que el 9% restante son mujeres. Con respecto a la moto, el 73% de los que utilizan este modo en la base, son hombres. En términos generales, los modos de transporte que resultaron ser los de mayor uso tanto para las mujeres como para los hombres, son A pie y el Bus. Igualmente, la tabla permite ver en color verde en qué género están los mayores porcentajes según el modo.

Tabla 16
Porcentaje de personas por género según modo de transporte

Modo	Hombre	Mujer	Total
A pie	4,651.00 46.27%	5,401.00 53.73%	10,052 100%
Bicicleta	337.00 90.35%	36.00 9.65%	373 100%
SITVA	1,907.00 47.30%	2,125.00 52.70%	4,032 100%
Metro	833.00 53.53%	723.00 46.47%	1,556 100%
Bus	3,317.00 45.10%	4,038.00 54.90%	7,355 100%
Taxi	535.00 40.35%	791.00 59.65%	1,326 100%
Auto Particular	2,390.00 58.38%	1,704.00 41.62%	4,094 100%
Moto	3,120.00 72.95%	1,157.00 27.05%	4,277 100%
Total	17,090.00	15,975.00	33,065

51.69% 48.31% 100%

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Por otra parte, se calcularon los tiempos promedio de viaje para cada uno de los modos de transporte seleccionados. Los resultados que están contenidos en la tabla 17. indican que el menor tiempo se registra en los viajes a pie, que suponemos se tratan de trayectos de distancia relativamente cortos en comparación a los otros modos. Se observa además que son los modos de transporte público (colectivos y masivos) los que mayores tiempos de desplazamiento promedio registran, mientras que los taxis (transporte público individual) y los modos de transporte privados tanto motorizados como no motorizados, son los que menores tiempos registran.

Tabla 17
Tiempo promedio de viaje según modo de transporte

Modo de transporte	Tiempo promedio de viaje
A pie	20
Bus	30
Moto	57
Auto Particular	54
SITVA	45
Metro	30
Taxi	35
Bicicleta	32

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

3.6 Modelo

El modelo realizado en la estimación tiene la siguiente forma:

$$Pr(mod_o) = f(\beta_0 + \beta_1 tiempo_i + \beta_2 edad_i + \beta_3 género_i + \beta_4 edu_básica + \beta_5 edu_media_i + \beta_6 edu_superior_i + \beta_7 posgrado_i + \beta_8 ing_medio + \beta_9 ing_alto_i + \beta_{10} 1_veh_mot_h_i + \beta_{11} 2_m_veh_moto_h_i + \varepsilon)$$

donde:

Pr (modo): La probabilidad de elegir cada uno de los 8 modos de transporte

tiempo: tiempo de desplazamiento del viaje en minutos

edad: edad del encuestado en años

género: género del encuestado, que toma los valores 1 para hombres y 0 para mujer.

escolaridad: nivel de escolaridad máxima alcanzada, esta va desde la categoría base sin nivel de escolaridad hasta las categorías educación básica, educación media, educación universitaria y posgrado.

ingreso hogar: ingresos del hogar por estatus social, esta va desde la categoría base ingresos bajos hasta las categorías ingresos medios e ingresos altos.

veh_mot_h: número de vehículos motorizados en el hogar, va desde la categoría base sin vehículos motorizados en el hogar, hasta los hogares con dos más vehículos motorizados.

β : parámetros del modelo

ε : componente de error

Este modelo se estimó con la técnica de la máxima verosimilitud que es el utilizado para los de tipo Logit multinomial y los resultados se presentan en el anexo 1.

Teniendo los resultados del modelo estimado se observa un valor p del estadístico chi-cuadrado cuyo valor es 0.000, el cual contrastado con el valor crítico (nuestro nivel de significancia) de 0.05 resulta inferior, lo que indica que el modelo global es estadísticamente significativo.

El Pseudo-R2 de McFadden resultó de 0.2724, el cual se encuentra en el rango sugerido por McFadden de 0.2 y 0.4 para un buen ajuste del modelo.

Las estimaciones del modelo Logit multinomial (Ver Anexo 1) evidencian en términos generales que, si aumenta en una unidad una de las variables explicativas, dejando todo lo demás constante, se espera un aumento o una disminución en la probabilidad relativa para elegir el modo j al modo k (categoría base).

En los resultados del modelo, un incremento en una unidad de la variable tiempo de viaje, está asociado a una disminución de -0.064 y -0.019 en la probabilidad relativa de elegir los modos activo (a pie y bicicleta respectivamente) en comparación al modo auto particular.

En el caso del Transporte Público tanto el Colectivo (Bus) como el Masivo (SITVA y metro) del AMVA, se evidencia que aumentar en una unidad el tiempo promedio de viaje, aumenta en 0.039, 0.036 y 0.019, respectivamente, la probabilidad relativa de preferir estos modos al modo auto particular. Para el caso de taxi (-0.016) y moto (-0.008), disminuye la probabilidad relativa de ser elegidos con relación al auto particular.

En la edad, el caso particular es el taxi (0.011), que a medida que aumenta la edad, se preferirá este modo en relación con el auto particular, sin embargo, en términos generales para el

resto de los modos a medida que aumenta la edad las personas en el AMVA, se prefiere el modo auto particular al resto de modos (todos con coeficientes negativos).

El metro y el nivel de educación se presentan positivos en sus coeficientes. Por ejemplo, pasar de no tener ningún nivel educativo a tener un nivel de Educación Superior, aumenta en 1,013 la probabilidad relativa de elegir metro al auto particular. Esto podría indicar que los habitantes del AMVA aprecian su metro.

Se realiza luego la prueba LR para verificar la significancia estadística de las variables, tal como lo definimos anteriormente. Los resultados los muestra la tabla 18, y muestran que todas las variables pasan la prueba al resultar su valor-p inferior al nivel de significancia del 0,05.

Tabla 18

Test de contraste de la razón de Verosimilitud para la primera estimación.

```

LR tests for independent variables (N=33065)
Ho: All coefficients associated with given variable(s) are 0

```

	chi2	df	P>chi2
time_mm	11123.899	7	0.000
sexo	1440.992	7	0.000
edad	888.584	7	0.000
2.escolaridad_~x	134.506	7	0.000
3.escolaridad_~x	624.971	7	0.000
4.escolaridad_~x	929.872	7	0.000
5.escolaridad_~x	147.539	7	0.000
2.ingreso_cat	394.272	7	0.000
3.ingreso_cat	1395.369	7	0.000
2.veh_moto_h	6574.814	7	0.000
3.veh_moto_h	6495.671	7	0.000

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Cuando se realiza el LR manualmente, se puede utilizar el Criterio de Información de Akaike para determinar cuál modelo presenta mejor ajuste. En la tabla 19 se presentan los resultados, al estimar el modelo general con todas las variables (m2) y un modelo restringido quitando la variable tiempo y género (m1).

Al comparar los dos modelos se observa un AIC más bajo en el “m2” que es el modelo global, de esa forma no existe razón por la cual no trabajar con todas las variables explicativas tomadas.

Tabla 19

Test LR y Criterio de Información de Akaike para contrastar el modelo restringido vs modelo completo

```

.....
Likelihood-ratio test                                LR chi2(14) = 12611.36
(Assumption: m1 nested in m2)                      Prob > chi2 = 0.0000
.....
Akaike's information criterion and Bayesian information criterion
.....

```

Model	N	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
m1	33,065	-59501.29	-49601.35	70	99342.7	99931.13
m2	33,065	-59501.29	-43295.67	84	86759.33	87465.46

```

.....
Note: BIC uses N = number of observations. See [R] BIC note.
.....

```

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Se obtuvo la prueba de Wald, tal como se muestra en la tabla 20, indica que existe una aproximación entre las dos contrastaciones. Aunque la prueba LR es el más recomendado la prueba de Wald posee una ventaja y es que no requiere la estimación de un modelo restringido. En ese sentido, la prueba sugiere elegir parámetros de interés probando que sean simultáneamente iguales a cero, si no hay evidencia para rechazar la H_0 entonces eliminar estas variables reduciría el ajuste del modelo. Para el caso de esta investigación se utiliza el comando *mlogtest, wald* que permite estimar para todos los casos en que los parámetros de las variables independientes son simultáneamente igual a cero.

Tabla 20

Test de contraste de Wald para la primera estimación

```

.....
Wald tests for independent variables (N=33065)
.....
Ho: All coefficients associated with given variable(s) are 0
.....

```

	chi2	df	P>chi2
time_mm	6427.568	7	0.000
sexo	1239.103	7	0.000
edad	842.160	7	0.000
2.escolaridad_~x	127.158	7	0.000
3.escolaridad_~x	540.625	7	0.000
4.escolaridad_~x	832.091	7	0.000
5.escolaridad_~x	128.331	7	0.000
2.ingreso_cat	386.854	7	0.000
3.ingreso_cat	1212.376	7	0.000
2.veh_moto_h	4247.950	7	0.000
3.veh_moto_h	4818.946	7	0.000

```

.....

```

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

De lo anterior se puede observar que aun cuando los parámetros se hacen iguales a cero en cada una de las variables explicativas para variable dependiente, estas se presentan estadísticamente significativas, ya que se rechaza H_0 al ser el valor $\text{prob} > \chi^2 = 0,000$ menor que el nivel 0,05. Esto indica que los coeficientes no son simultáneamente iguales a cero, por lo que incluir estas variables en el modelo mejora su ajuste.

Se calcula ahora el Coeficiente de Correlación de Spearman para las dos variables cuantitativas independientes del modelo que son el tiempo promedio de viaje y la edad. Los resultados se muestran en la tabla 21.

Tabla 21

Coeficiente de Correlación de Spearman para estimaciones principales. Correlación entre variable tiempo promedio de viaje y edad.

```
.Number of obs = 33065
.Spearman's rho = 0.1097
.
.Test of Ho: time_mm and edad are independent
. Prob > |t| = 0.0000
.(obs=33065)
```

	edad	time_mm
edad	1.0000	
time_mm	0.1097	1.0000

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

El Coeficiente de Spearman muestra que entre las variables existen una baja correlación pues el valor está cercano a cero, además la prueba de hipótesis correspondiente H_0 no se rechaza pues valor del estadístico t calculado, es menor al t crítico con un nivel de significancia del 5%. De manera que hay independencia entre la variable `time_mm` y la edad, por lo que no es necesario hacer ajustes o sustracciones de las variables en el modelo.

Luego se aplican dos pruebas para confirmar la existencia del supuesto de Independencia de Alternativas Irrelevantes (IIA). Para este caso se utiliza la prueba de Hausman y la prueba de Small-Hsiao (HS) los cuales obtienen resultados distintos. Los primeros resultados se pueden observar en la tabla 22, el cual indica que tres de los 8 modos no pasan la prueba y son irrelevantes. Esto se concluye al comparar el valor p ($P > \chi$) con el nivel de significancia del 0,05, y si el valor p resulta mayor, no se rechaza la H_0 y por tanto la variable es irrelevante. De acuerdo con Montero (2005) también es posible que se obtengan resultados negativos en el chi-cuadrado del test de Hausman, pero con muestras pequeñas (menores a 60), sin embargo, Schreiber (2008) expone que esto puede ocurrir con muestras grandes distribuidas asintóticamente.

Por otro lado, la prueba de SH, indica que las 8 alternativas son irrelevantes, puesto que el resultado del valor- p , es superior al 0,05.

Tabla 22

Test de Hausman del supuesto IIA para la primera estimación.

Hausman tests of IIA assumption (N=33065)

Ho: Odds(Outcome-J vs Outcome-K) are independent of other alternatives

	chi2	df	P>chi2
A pie	320.637	67	0.000
Biciclet	19.576	67	1.000
SITVA	363.941	69	0.000
Metro	109.171	68	0.001
Bus	-190.790	68	.
Taxi	14.090	68	1.000
Auto Par	72.331	67	0.306
Moto	-64.940	68	.

Note: A significant test is evidence against Ho.
Note: If chi2<0, the estimated model does not meet asymptotic assumptions.

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Tabla 23

Test de Small-Hsiao del supuesto IIA para la primera estimación.

```

Small-Hsiao tests of IIA assumption (N=33065)

Ho: Odds(Outcome-J vs Outcome-K) are independent of other alternatives

```

	lnL(full)	lnL(omit)	chi2	df	
A pie	-1.52e+04	-1.51e+04	73.554	72	0.427
Bicicleta	-2.10e+04	-2.10e+04	58.386	72	0.877
SITVA	-1.70e+04	-1.70e+04	74.018	72	0.412
Metro	-1.92e+04	-1.91e+04	66.258	72	0.669
Bus	-1.42e+04	-1.42e+04	84.244	72	0.153
Taxi	-1.93e+04	-1.93e+04	59.353	72	0.857
Auto Particular	-1.78e+04	-1.78e+04	61.416	72	0.809
Moto	-1.74e+04	-1.74e+04	80.746	72	0.225

```

Note: A significant test is evidence against Ho.

```

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Como se explica anteriormente, estos resultados llegan a resultados que no son convergentes, debido a que conducen a conclusiones diferentes. Así que, con el argumento mencionado al momento de definir el supuesto, y los resultados de la SH, se sigue adelante con el trabajo.

3.6.1 Relative Risk Ratio (RRR)

Siguiendo con la interpretación de los resultados, se obtienen los Relative Risk Ratio (RRR) o razón de riesgo relativo del modelo Logit multinomial estimado (Ver Anexo 2). Los RRR se obtienen exponenciando los coeficientes Logit multinomial, pues como se mencionó los estimadores corresponden a los logaritmos de la razón de probabilidades entre los modos seleccionados y el modo base de referencia.

Los resultados de los RRR se presentan significativos con un nivel de confianza del 0,05 para la mayoría de los coeficientes. Por ejemplo, al tomar el ingreso que reporta el hogar, se evidencia que pasar de un ingreso bajo a un ingreso alto, tiene una razón de riesgo relativo de 0,136 de elegir el modo a pie en comparación al auto particular. En otras palabras, el riesgo esperado de elegir el modo a pie es menor para las personas que en sus hogares reportaron ingresos altos.

Tener uno o más vehículos en el hogar puede representar un riesgo esperado menor en la elección de los modos SITVA y Bus con respecto al auto particular. Por otra parte, los hombres, tienen una razón de riesgo relativo 5,4 veces mayor que la mujer para la decisión modal de ir en bicicleta en comparación al auto.

3.6.2 Efectos marginales

Los efectos marginales como su nombre lo indican, muestran los cambios en la variable explicada o dependiente (dY) ante cambios en una de las variables explicativas (dX), en el caso del presente trabajo, mostrará los cambios en la probabilidad de usar los diferentes modos de transporte, ante cambios en las características socioeconómicas de los individuos o en las características del viaje. Los resultados se recopilan en el Anexo 3, y fueron estimados por medio del Average Marginal Effect (AME) y son diferentes a los predictive margins.

De los resultados se evidencia, por ejemplo, que, en promedio, ante un aumento en una unidad en el tiempo de desplazamiento los modos activos, que corresponde a viajes a pie y en bicicleta, disminuyen la probabilidad en 0,010 y 0,000065, respectivamente. En caso contrario, para el transporte público colectivo (Bus) y el Transporte Público Masivo (SITVA y Metro) se

observa un aumento de la probabilidad de elección, en su orden, de 0,0043, 0,0036 y 0,0013. Así mismo, los modos auto y moto presentan un aumento de la probabilidad de elección de 0,00058 y 0.00014, respectivamente.

Por otra parte, las variables categóricas se interpretan de otra forma: al analizar, por ejemplo, los niveles de ingreso, se tiene que en promedio la probabilidad de las personas de ingresos altos de elegir auto particular es 20 puntos porcentuales más alta que las personas de ingresos bajos. Si las personas tienen un posgrado como nivel máximo de escolaridad en promedio la probabilidad de elegir auto particular es 9 puntos porcentuales más alta que las personas que no tienen ninguna educación. Si son hombres, la probabilidad de elegir auto particular es en promedio 2 puntos porcentuales más alta que las mujeres.

Para la bicicleta, se observa que en promedio la probabilidad de que los hombres la elijan modo es 2 puntos porcentuales más alta que en las mujeres. En las personas de ingresos altos, la probabilidad es en promedio 8 puntos porcentuales más baja que en los de ingresos bajos. Se evidencia también que, en promedio, la probabilidad de las personas que tienen dos o más vehículos motorizados en su hogar de elegir bicicleta es 1 punto porcentual más baja que aquellas que no tienen.

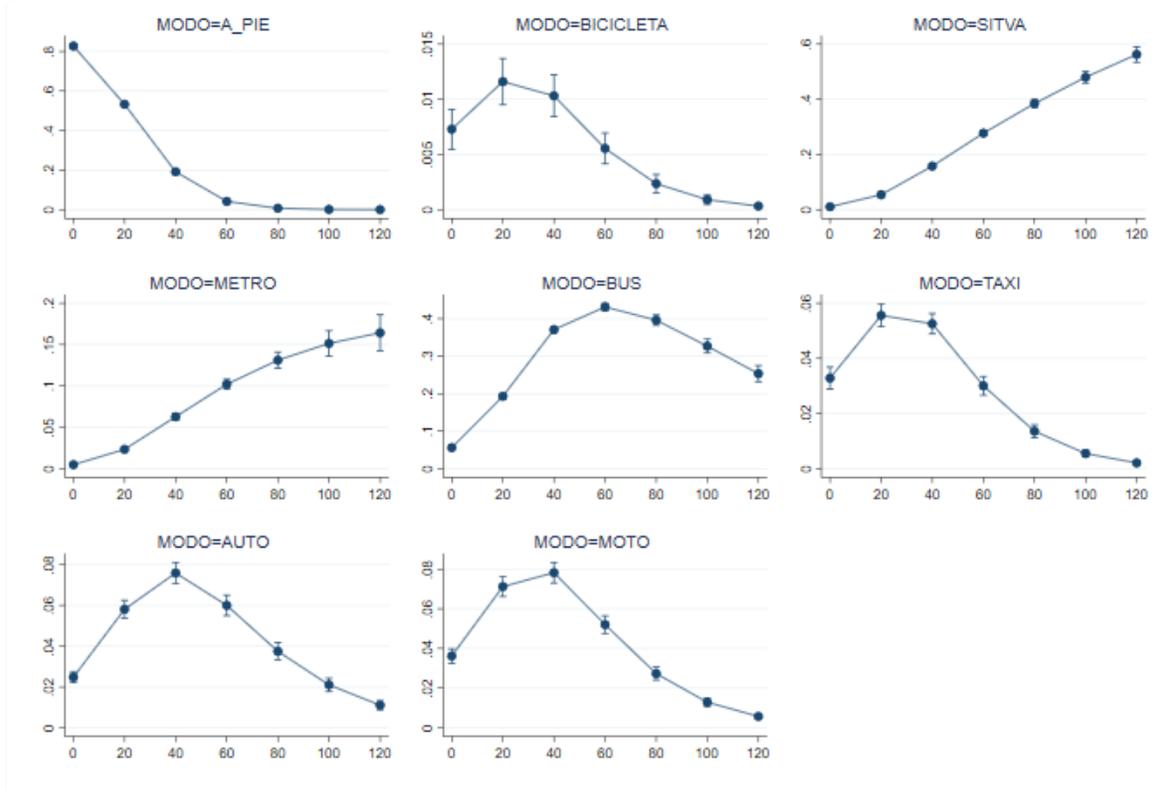
Los resultados también permiten apreciar que, en el caso del bus, en promedio probabilidad de que las personas de ingresos altos elijan este modo de transporte es 2 puntos porcentuales más baja aquellas de ingresos bajos. Para la edad, ante un aumento en un año, en promedio lleva a un aumento muy pequeño de 0,00004 en la probabilidad de elegir bus. Llama la atención el resultado para las personas con posgrado, que acorde a esto, en promedio, la

probabilidad de que una persona elija bus es 3 puntos porcentuales más alta que las personas sin educación. En este último, se esperaría que la diferencia fuera más baja en las personas con posgrado que en las sin educación.

Para complementar los resultados de los efectos marginales se presentan a continuación las probabilidades predichas de las variables explicativas de forma gráfica.

Figura 23

Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto al tiempo promedio de desplazamiento

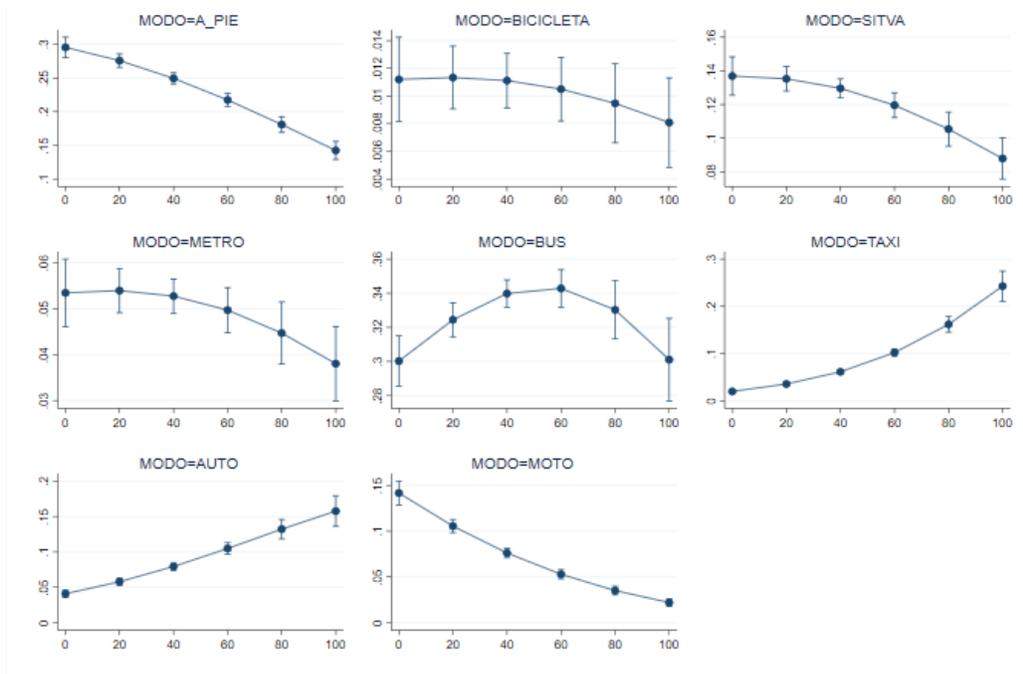


Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

El primer grupo de gráficas que se muestran en la figura 23, permiten observar la relación existente entre la variable tiempo promedio de desplazamiento y las probabilidades de elegir los modos de transporte considerados en esta investigación. Se ve, por ejemplo, como la probabilidad de elegir a pie como modo, disminuye a medida que aumentan los tiempos de viaje. Para SITVA y el Metro, la probabilidad de elegir estos modos para viajar, aumenta a medida que incrementa el tiempo promedio de viaje. Para los modos bus, bicicleta, taxi, auto y moto, se ve que inicialmente tienen un comportamiento creciente, es decir, aumenta la probabilidad a medida que crece el tiempo promedio de viaje, pero a partir de cierto punto, esta probabilidad empieza a disminuir.

Figura 24

Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto a la edad



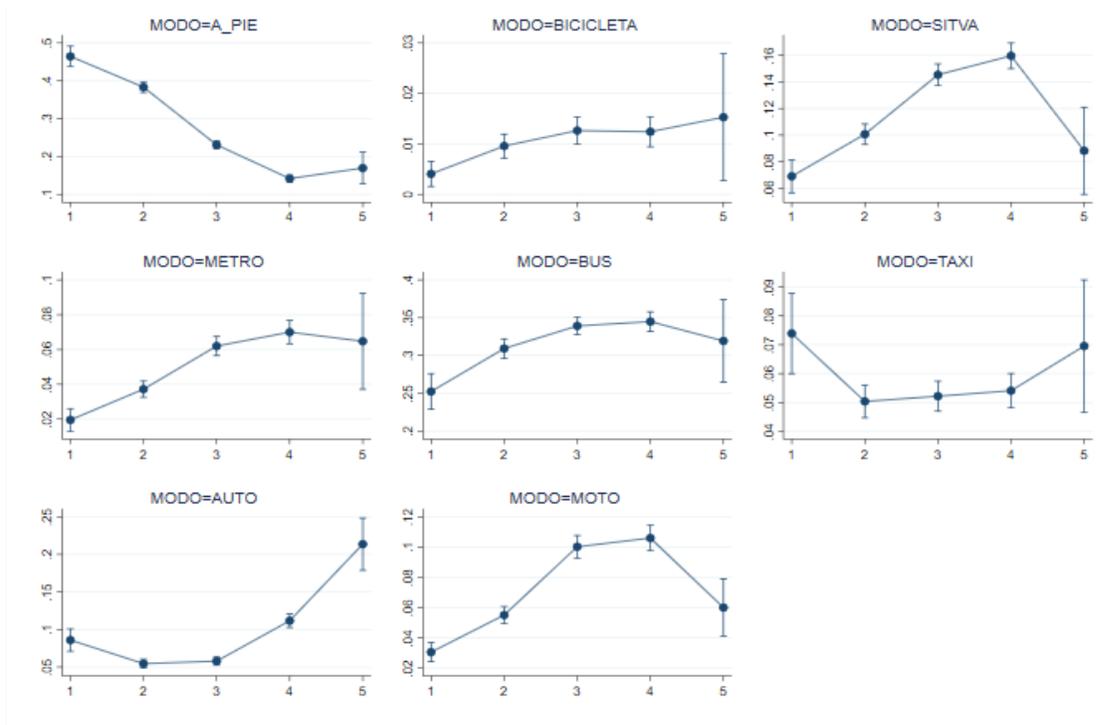
Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA

2017

Con respecto a las probabilidades de elegir los modos, ante cambios de la variable edad, se evidencia que para el modo a pie la relación es negativa, es decir, a medida que aumenta la edad, es menos probable que una persona viaje a pie. La probabilidad de elegir bicicleta disminuye también a medida que aumenta la edad, aunque con una tasa más pequeña. Los modos públicos masivos, también son menos probables de ser elegidos a medida que aumenta la edad. El modo bus, la probabilidad de ser elegido aumenta hasta cierto nivel de edad (60 años) y a partir de allí empieza a disminuir. Los modos taxi y auto por su parte, a medida que aumenta la edad aumentan su probabilidad de ser elegidos.

Figura 25

Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto al nivel máximo de escolaridad



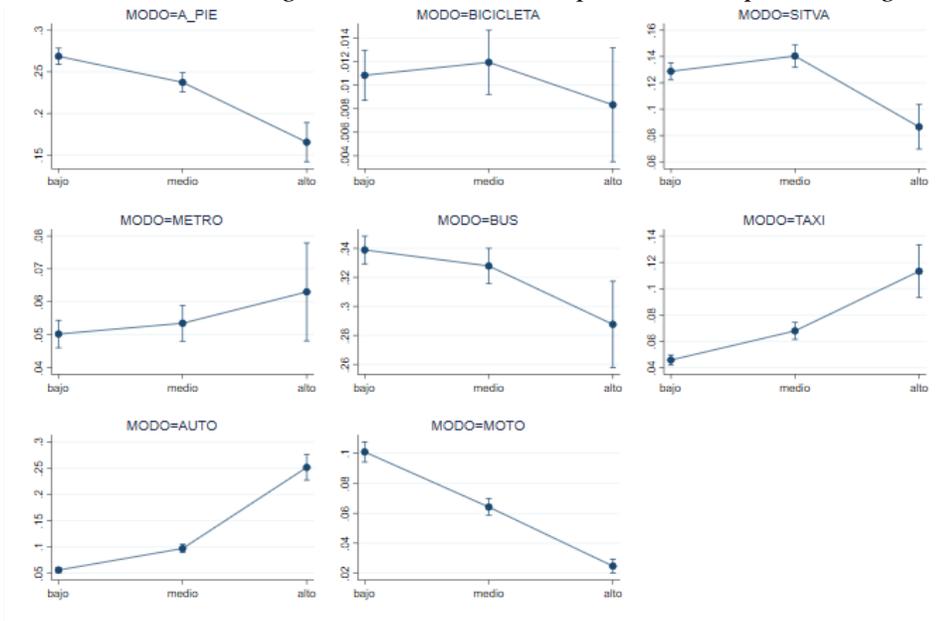
Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA

2017

Ahora se analiza cómo cambia la probabilidad, a medida que hay cambios en el nivel de escolaridad máximo alcanzado de las personas que viajan. Se observa que hay una alta probabilidad de elegir los modos de transporte privado a mayor nivel educativo, sin embargo, cuando la persona tiene un nivel de posgrado, la probabilidad de que utilice la moto disminuye. Realizar un viaje a pie es menos probable cuando se tiene un mayor nivel de formación. A pesar de que las probabilidades de utilizar la bicicleta son bajas, estas aumentan a medida que la persona tiene un mayor nivel educativo. Los modos de transporte públicos colectivos y masivos, tienen una mayor probabilidad de ser utilizados hasta cuando las personas tienen un nivel de educación superior, no obstante, cuando alcanzan un posgrado la probabilidad de ser elegidos cae.

Figura 26

Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto al ingreso del hogar



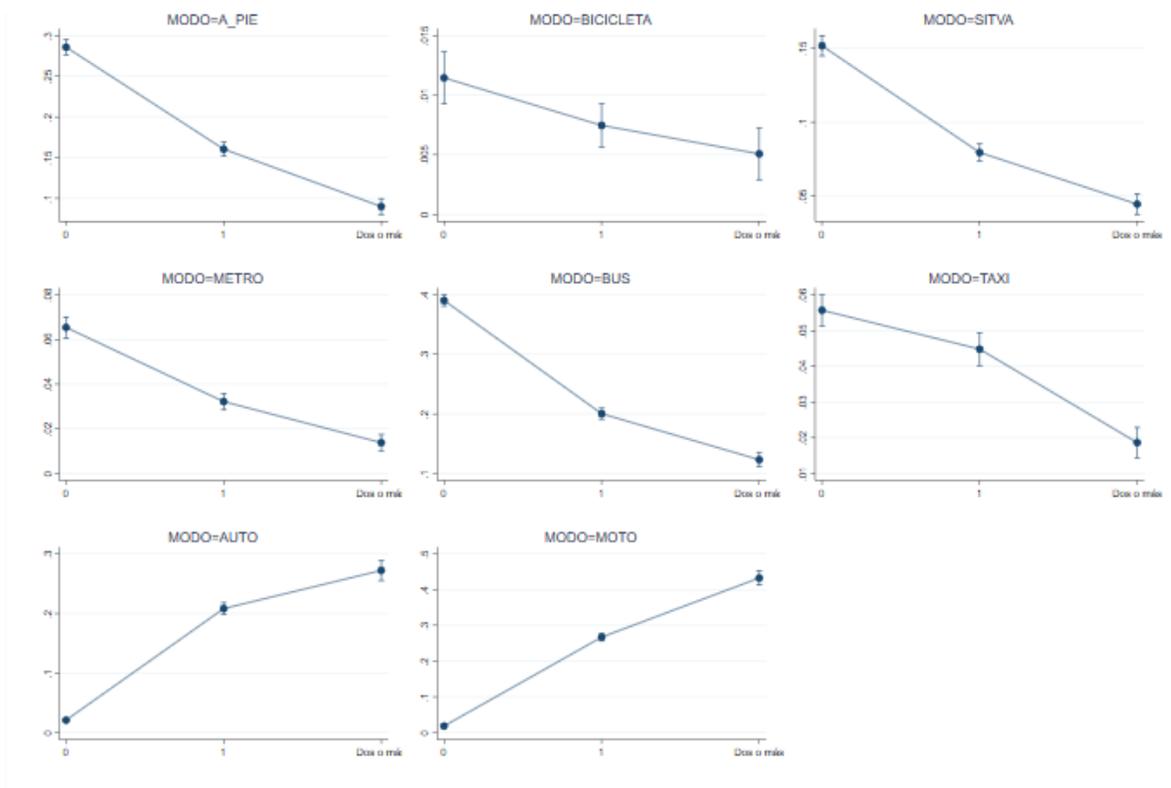
Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA

2017

Con respecto al ingreso en los hogares de las personas, se comprueba que a medida que se pasa de un estatus de ingresos bajos a unos ingresos altos, la probabilidad de elegir los modos auto particulares, taxi y metro aumenta. A mayor nivel de ingresos, menor probabilidad de viajar a pie, en moto y en bus. La bicicleta y el SITVA es más probable que la utilicen aquellas personas de ingresos medios.

Figura 27

Probabilidades de elegir cada modo de transporte con respecto a la tenencia de vehículos motorizados en el hogar



Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA 2017

Finalmente, tener vehículos motorizados en el hogar disminuye la probabilidad de elegir los modos activos y el transporte público, como era de esperarse, aumenta la probabilidad de elegir los transportes privados motorizados que son el auto y la moto, siendo mayores las probabilidades para esta última.

Los resultados que se evidenciaron en la modelación en la tabla 18 permiten ver lo relevante que es el ingreso, el tiempo de viaje (que es una desutilidad), la tenencia de vehículos y el nivel formación. Estas variables resultaron prácticamente significativas en todos los modos de transporte.

En una sociedad, el nivel de desarrollo está impulsado por el nivel de formación del capital humano y la distribución de la riqueza, que permite reducir los niveles de desigualdad.

En ese orden de ideas los modos de transporte y la forma como esté configurada su oferta podrían constituirse como elementos generadores de desigualdad, en el sentido de que si una persona no cuenta con los recursos económicos suficientes no podrá pagar las tarifas de un modo seguro, eficiente, rápido (que disminuya la desutilidad), cómodo y de rápida accesibilidad. Estas características, son percibidas en un modo de transporte particular acorde a lo revisado en la literatura y a las consultas ciudadanas cotidianas, de allí el crecimiento constante del parque automotor privado.

Para el caso del AMVA, de acuerdo con los resultados para la variable ingreso, el pasar de un nivel de ingreso bajo a un nivel de ingreso alto disminuye la probabilidad relativa de elegir en 2 el modo a pie como un modo de transporte en comparación con el auto particular. El viajar a pie aporta a la sostenibilidad de los sistemas de transporte, a la consecución de la pirámide

invertida de la movilidad, de alguna forma a la vida saludable, por mencionar alguno de los beneficios, no obstante, esto no es atractivo para los habitantes del AMVA si se compara con el modo auto. Algo parecido sucede con la Bicicleta, el pasar de un nivel de ingresos bajos a uno alto, disminuye su probabilidad relativa de ser elegida en 1,75 en comparación con el auto. En términos generales, las personas entre más aumenta su ingreso, es más probable que elijan el modo auto particular que cualquiera de los otros modos disponibles en el AMVA.

Con el nivel de formación, tiene un comportamiento un poco diferente. El pasar de no tener ningún nivel educativo a tener un nivel de educación superior aumenta la probabilidad relativa en 1 de usar metro en comparación del auto.

El análisis económico podría ser más robusto y completo, si en esta investigación se hubiese contado con la variable costo como una de las regresoras del modelo propuesto; pero la base de datos de la Encuesta Origen Destino 2017, no proporciona este tipo de información. Se trató de incluir la variable por medio de una estimación indirecta, que se observó en el trabajo de Dhau et al. (2017) y podía ser replicada con los datos disponibles, sin embargo, luego de ser obtenida presentó errores en el software estadístico STATA.

El contar con la variable costo permitiría hacer cálculo del valor subjetivo de la característica presentada en la ecuación 3.1 y de la función de utilidad indirecta condicional.

Finalmente, la tenencia de vehículos resultó estadísticamente significativa en todos los estimadores, mostrando una relación negativa en la probabilidad de usar cualquier otro modo de transporte en comparación al automóvil.

Tabla 24

Matriz de confusión para la variable dependiente real vs la estimada.

Key		DESCRIPCIÓN MODO DE TRANSPORTE								
frequency row percentage		A pie	Bicicleta	SITVA	Metro	Bus	Taxi	Auto Part	Moto	Total
pred_choice	A pie	8,032 61.39	178 1.36	507 3.88	205 1.57	2,146 16.40	620 4.74	559 4.27	836 6.39	13,083 100.00
	SITVA	26 1.65	5 0.32	637 40.34	220 13.93	513 32.49	25 1.58	74 4.69	79 5.00	1,579 100.00
	Bus	939 10.71	91 1.04	2,343 26.72	882 10.06	3,569 40.70	363 4.14	297 3.39	284 3.24	8,768 100.00
	Taxi	5 29.41	0 0.00	0 0.00	0 0.00	1 5.88	6 35.29	5 29.41	0 0.00	17 100.00
	Auto Particular	386 9.09	30 0.71	204 4.80	120 2.82	492 11.58	191 4.50	2,301 54.17	524 12.34	4,248 100.00
	Moto	664 12.36	69 1.28	341 6.35	129 2.40	634 11.81	121 2.25	858 15.98	2,554 47.56	5,370 100.00
	Total	10,052 30.40	373 1.13	4,032 12.19	1,556 4.71	7,355 22.24	1,326 4.01	4,094 12.38	4,277 12.94	33,065 100.00

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA

2017

A partir de los resultados, se construyó una matriz de confusión para determinar el grado de precisión en las predicciones del modelo con respecto a los valores reales. Para el modo auto, se puede observar en la tabla 24 el modelo acierta en un 54% las elecciones. El mayor acierto, se da en el modo a pie, con un 61% de acierto. Con el bus, el SITVA y el metro los aciertos son de 41%, 40% y 0%. Lo que significa que este modelo predice de forma parcial las elecciones de los habitantes del AMVA. Esto podría obedecer a las limitaciones que tiene el análisis propuesto por esta investigación y a la naturaleza de los modelos logit multinomial para abarcar la realidad compleja de los viajes del AMVA, puesto que en la realidad, una persona para realizar su viaje,

utiliza hasta 5 modos de transporte, debido a la integración del sistema de transporte o por la ausencia de un modo que pueda transportar a los individuos desde el punto de origen hasta el punto de destino sin necesidad de transbordo. No obstante, se puede considerar que el modelo genera buenos resultados en los ajustes globales e individuales, acorde a las pruebas realizadas y, por tanto, pueden explicar la utilidad que tienen los individuos con respecto a los diferentes modos de transporte teniendo en cuenta las variables seleccionadas a partir de la revisión de la literatura.

4. Conclusiones y recomendaciones

La presente investigación realizó un análisis de la elección modal en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), usando como marco de referencia los fundamentos de la Economía del Transporte, la Teoría del Consumidor y los modelos de demanda de transporte, se estimó un modelo logit multinomial.

Se evidenció que aproximadamente 7 de cada 10 ocupados en el AMVA, pertenecen a los sectores de comercio, hoteles y restaurantes; servicios comunales, sociales y personales y/o a la Industria Manufacturera.

Respecto a la dinámica del transporte, se pudo observar que el AMVA posee un sistema de transporte diversificado que está apostándole de forma notable a la movilidad integrada, que a su vez conecta cada uno de los 10 municipios que lo conforman. El AMVA lidera la oferta de modos de transporte en el país al tener el único metro y tranvía de Colombia.

En términos generales, las cifras indican que existen dos comunas de Medellín, que concentran una mayor recepción de viajes (destino principal) y esto se explica porque en estas se agrupan la mayor cantidad de empresas en esta ciudad. De acuerdo a Muñoz y Anguita (2018) este aumento del tráfico motorizado en esas zonas, aparte de ser causa de numerosos problemas económicos, sociales y medioambientales, da lugar a elevados niveles de congestión.

Los resultados de la modelación de la demanda de transporte en el AMVA muestran que las variables tiempo promedio de viaje, género, edad, nivel de escolaridad, nivel de ingresos del hogar y cantidad de vehículos motorizados en el hogar, son factores determinantes para la elección del transporte.

Cuando el tiempo promedio de desplazamiento aumenta para cada uno de los modos, las personas tienden a utilizar más el transporte masivo. Mayores tiempos significan mayores distancias, por lo cual, serían mayores los costos en términos de tiempo, si se usan los modos de transporte activo (bicicleta y a pie) y, mayores en términos de dinero si usan los modos particulares (auto y moto). Aquí toma relevancia la integración del transporte en el AMVA, pues facilita la movilización de las personas hacia su destino, aun cuando los tiempos son mayores.

Se encontró que el tiempo promedio de viaje tiene una relación inversa con la probabilidad relativa de elegir el modo a pie, bicicleta, taxi y moto cuando se compara con el modo base auto particular. Caso contrario ocurre con los modos SITVA, Metro y Bus, puesto que su probabilidad relativa de ser elegidos tiene una relación positiva con el tiempo promedio también comparados con el auto. Esto se debe a que cuando la variable tiempo aumenta en una unidad, el viajero experimenta una desutilidad lo que hace que las personas valoren más el SITVA, el metro y el bus, aun cuando se registró que los promedios de desplazamiento para el AMVA eran de hasta 60 minutos para estos modos.

Los hombres, tienen una menor probabilidad de usar a pie, SITVA, Metro, Bus y taxi en comparación al auto. Es mayor su probabilidad de usar la bicicleta y la moto versus el auto.

En cuanto a la variable edad, a medida que esta aumenta, disminuye la probabilidad de elegir todos los modos (a excepción del taxi) en comparación al auto.

El auto particular, es sin dudas, uno de los modos que mayores problemáticas genera, pero resulta atractivo por los servicios que presta al consumidor.

Los hacedores de política, deben mejorar en el transporte público, los elementos básicos que hacen atractivo el modo auto en comparación a los demás, para que se disminuya la congestión, la accidentalidad, la contaminación y demás externalidades negativas.

La infraestructura de los modos activos debe ser mejorada constantemente y promovida para su uso, sobre todo en personas de mayores ingresos, los que tienen vehículos motorizados en sus hogares y grupos de mayor edad. El transporte público, si bien poseen el 45% de la partición modal del AMVA, no está brindado el servicio más eficiente, puesto que los tiempos promedios de viaje son mayores si se contrastan con los modos privados, esto los hace menos atractivos. Desde la perspectiva de la economía del transporte, el tiempo es un input que se debe tener en cuenta como parte del precio a pagar de los individuos, y junto a los costos monetarios asociados a los viajes, se constituyen en el denominado Precio Generalizado del modo.

Los esfuerzos de los hacedores de política pública en el AMVA deberían apuntar a tener más rutas de transporte público y de ciclorrutas, hacia los puntos de mayor destino de los viajes privados, que además incluyan como puntos de origen, los municipios de Caldas y Barbosa que se ubican en la periferia.

La bicicleta sigue sin tener mayor protagonismo. Si bien los modos activos tuvieron una participación cercana al 29% en la partición modal del AMVA, el 97% de estos son viajes a pies, por lo que debería implementarse una mayor infraestructura que promueva el uso de la bicicleta, que solo tuvo el 3% del total de viajes en modos activos. El uso de bicicleta aporta de manera significativa a la movilidad sostenible porque no emiten gases contaminantes y cumplen los trayectos en menor tiempo que los viajes a pie, por lo que reducen la desutilidad de los usuarios.

En cuanto a futuras investigaciones, este trabajo sirve como referente e invita a la utilización de otros modelos logit como los mixtos y los anidados. También se sugiere que se capture de forma clara el modo principal de los individuos, sobre todo cuando realizan transbordos (es decir, viajes con muchas etapas) para llegar a su destino. Esto se puede obtener agregando preguntas claves en el instrumento como, ¿en cuál modo de los que utiliza para sus desplazamientos demora más tiempo? o preguntando el costo de viaje asociado a cada uno de los modos que utiliza para completar su viaje, es decir, criterios de tiempo y costos.

5. Referencias bibliográficas

- Amariles, P. (2016). *Determinantes de la elección del medio de transporte para asistir al sitio de trabajo principal: evidencia para Medellín (Colombia) 2014*.
<https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/11663>
- AMVA. (2017). *Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá (SITV)*.
<https://www.metropol.gov.co/la-movilidad/transporte-p%C3%BAblico/sitva>
- Anta Álvarez, J. (2016). *Estudio comparativo de los factores relacionados con la elección modal en redes de transporte con sistemas de capacidad intermedia*.
- Arbeláez, Ó. (2015). *Modelación de la elección de la bicicleta pública y privada en ciudades*. Universidad Nacional de Colombia.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2020a). *Autoridad de Transporte*.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2020b). *Historia del Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Historia.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, & Consorcio de Movilidad Regional. (2009). *Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá*.
- Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia. (2018). Dinámica empresarial e inversión en sociedades. *Revista Antioqueña de Economía y Desarrollo*, 19(1), 60.
- Daza Moreno, J. D. (2017). *Factores asociados a la elección discreta en medios de transporte hacia su lugar de trabajo. Un estudio aplicado en la ciudad de cali según zonas socio-demográficas*. Universidad del Valle.
- Dhau, C., Etchegoyen, F., Fiorioli, F., Ichaso, G., & Lev, M. (2017). *Modelo de Elección Discreta: Un análisis sobre la demanda de transporte público en Buenos Aires, Argentina*. Universidad Torcuato Di Tella.
- Domencich, T. A., & McFadden, D. (1975). Urban Travel Demand: A behavioral analysis. In *North-Holland Publishing Company* (Oxford Ame). <https://doi.org/10.2307/134305>
- Fajardo, C., & Gómez, A. (2015). *Análisis De La Elección Modal De Transporte Público Y Privado En La Ciudad De Popayan*.

- FEDESARROLLO. (2013). La integración de los sistemas de transporte urbano en Colombia - Una reforma en transición. *Centro de Investigación Económico y Social*, 1, 50–58.
- García, J. J., Posada, C. E., & Corrales, A. (2016). Congestión vehicular en Medellín : una posible solución desde la Economía. *Coyuntura Económica*, XLVI(16), 32. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2827118>
- Hausman, J., & McFadden, D. (1984). *Specification Tests for the Multinomial Logit Model*. 52(5), 1219–1240.
- Hidalgo, D., & Díaz, R. (2014). Advancing Urban mobility with national programs: Review of Colombia's national Urban transport policy. *Transportation Research Record*, 2451, 113–120. <https://doi.org/10.3141/2451-13>
- Jiménez Serpa, J. C., & Salas Rondón, M. H. (2017). Aplicación de modelos econométricos para estimar la aceptabilidad de una tasa por congestión vehicular. *Inge Cuc*, 13(2), 60–78. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.08>
- Lancaster, K. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 74(2), 132–157.
- Lee, D. (2013). A Comparison of Choice-based Landscape Preference Models between British and Korean Visitors to National Parks. *Life Science Journal*, 10(2), 2028–2036. <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>
- Manski, C. (1977). The Structure of random utility models. *Theory and Decision*, 6(5), 229–254.
- Manski, C., & McFadden, D. (1981). Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications. In C. Manski & D. McFadden (Eds.), *Journal of Marketing Research* (Vol. 19, Issue 4). The MIT Press. <https://doi.org/10.2307/3151745>
- McFadden, D. (2001). Decisiones económicas. *Revista Asturiana de Economía*, 21(1), 261–303.
- McFadden, D. (1974). The measurement of urban travel demand. *Journal of Public Economics*, 3(4), 303–328. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(74\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0047-2727(74)90003-6)
- McFadden, D. (1987). Regression-based specification tests for the multinomial logit model. *Journal of Econometrics*, 34(1–2), 63–82. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(87\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0304-4076(87)90067-4)
- Medellín Cómo Vamos. (2017). *Gobernanza Metropolitana en el Valle de Aburrá*.
- Medellín Cómo Vamos. (2018). *¿Qué nos deja la nueva encuesta Origen - Destino?* Hábitat. <https://www.medellincomovamos.org/que-nos-deja-la-nueva-encuesta-origen-destino/>
- Medellín Cómo Vamos. (2019). *Área metropolitana del Valle de Aburrá*. <https://www.medellincomovamos.org/territorio/area-metropolitana-del-valle-de-aburra>
- Medina, C., & Vélez, C. (2011). Aglomeración económica y congestión vial: los perjuicios por racionamiento del tráfico vehicular. *Borradores de Economía*, 678, 54. <https://incp.org.co/Site/2011/info/archivos/564a.pdf>
- Mejía, G., & Presa, A. (2018). *Factores determinantes de la demanda de transporte urbano en la ciudad de Cusco al año 2016*.
- Montero, R. G. (2005). Test de Hausman. *Universidad de Granada*, 3. <http://www.ugr.es/~montero/matematicas/hausman.pdf>
- Muñoz, J., & Anguita, F. (2018). Los peajes urbanos como factor determinante de sostenibilidad y competitividad en el transporte urbano: Un estudio aplicado a Madrid. *Eure*, 44(131), 53–74. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612018000100053>
- Nguyen, D. C., Hoang, H. D., Hoang, H. T., Bui, Q. T., & Nguyen, L. P. (2019). Modal Preference in Ho Chi Minh City, Vietnam: An Experiment With New Modes of Transport. *SAGE Open*, 9(2). <https://doi.org/10.1177/2158244019841928>

- Olmo Sánchez, M. I. (2015). *La perspectiva de género en el análisis de la movilidad y el transporte: una aproximación cuantitativa*. 1–301.
<http://www.tesisenred.net/handle/10803/310953>
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. ODS.
- Ortúzar, J. (2012). *Modelos de Demanda de Transporte* (2.^a ed.). Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Ortúzar, J. de D., & Román, C. (2003). El problema de modelación de demanda desde una perspectiva desagregada: el caso del transporte. *Eure*, 29(88), 149–171.
<https://doi.org/10.4067/s0250-71612003008800007>
- Schreiber, S. (2008). The Hausman test statistic can be negative even asymptotically. *Jahrbucher Fur Nationalokonomie Und Statistik*, 228(4), 394–405. <https://doi.org/10.1515/jbnst-2008-0407>
- Sustainable Mobility for All. (2017). *Global Mobility Report 2017*.
https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2643Global_Mobility_Report_2017.pdf
- Trujillo Barón, W. (2015). *Una aproximación a los determinantes micro de la elección de modos de transporte para el desplazamiento hacia el sitio de trabajo en Santiago de Cali 2012*.
[http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9279/1/0534145-E-WALTER TRUJILLO.pdf%5Cnhttp://hdl.handle.net/10893/9279](http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9279/1/0534145-E-WALTER%5Cnhttp://hdl.handle.net/10893/9279)

6. Anexos

Anexo 125

Resultados de la estimación del modelo propuesto

Variables explicativas	A pie	Bicicleta	SITVA	Metro	Bus	Taxi	Moto
Tiempo promedio en modo	-0,064* (0,001)	-0,019* (0,003)	0,039* (0,001)	0,036* (0,001)	0,019* (0,001)	-0,016* (0,001)	-0,008* (0,001)
Sexo	-0,685* (0,048)	1,747* (0,18)	-0,727* (0,054)	-0,451* (0,067)	-0,794* (0,048)	-0,904* (0,069)	0,605* (0,051)
Edad	-0,02* (0,001)	-0,016* (0,003)	-0,017* (0,001)	-0,016* (0,002)	-0,013* (0,001)	0,011* (0,001)	-0,032* (0,001)
2. Educación Básica	0,261** (0,11)	1,312* (0,335)	0,83* (0,144)	1,097* (0,206)	0,656* (0,12)	0,069 (0,15)	1,044* (0,141)
3. Educación Media	-0,304* (0,106)	1,531* (0,329)	1,138* (0,139)	1,548* (0,199)	0,69* (0,115)	0,045 (0,146)	1,584* (0,134)
4. Educación Superior	-1,45* (0,106)	0,857** (0,336)	0,574* (0,138)	1,013* (0,2)	0,049 (0,114)	-0,575* (0,148)	0,983* (0,134)
5. Posgrado	-1,92* (0,185)	0,416 (0,534)	-0,665* (0,253)	0,286 (0,308)	-0,675* (0,176)	-0,971* (0,228)	-0,234 (0,21)
2. Ingreso medio	-0,674* (0,055)	-0,453* (0,125)	-0,463* (0,061)	-0,486* (0,075)	-0,583* (0,054)	-0,154** (0,077)	-1,003* (0,055)
3. Ingreso alto	-1,988* (0,097)	-1,765* (0,307)	-1,9* (0,122)	-1,274* (0,144)	-1,666* (0,088)	-0,594* (0,12)	-2,908* (0,097)
2. Un Vehículo motorizado	-2,873* (0,072)	-2,724* (0,137)	-2,942* (0,078)	-3,005* (0,091)	-2,963* (0,072)	-2,513* (0,09)	0,375* (0,09)
3. Dos o más Vehículos motorizados	-3,721* (0,091)	-3,378* (0,23)	-3,79* (0,108)	-4,121* (0,154)	-3,719* (0,09)	-3,66* (0,139)	0,588* (0,097)
Constante	6,838* (0,13)	-1,088* (0,38)	1,103* (0,163)	-0,178 (0,225)	3,021* (0,138)	1,838* (0,181)	0,453* (0,161)

Nota: Modo Auto Particular (base outcome)

Pruebas: * <0.01 ** <0.05 ***<0.1

Valores en parentesis corresponden a los Errores Estandar.

*Multinomial logistic regression	Number of obs	=	33,065
	LR chi2(77)	=	32411.24
	Prob > chi2	=	0.0000
*Log likelihood = -43295.667	Pseudo R2	=	0.2724

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA

2017

Anexo 26

Razones de riesgo relativas para el modelo estimado

Variables explicativas	A_pie	Bicicleta	SITVA	Metro	Bus	Taxi	Moto
Tiempo promedio en modo	0,937* (0,001)	0,98* (0,003)	1,04* (0,001)	1,036* (0,001)	1,019* (0,001)	0,983* (0,001)	0,991* (0,001)
Sexo	0,504* (0,024)	5,739* (1,034)	0,483* (0,026)	0,636* (0,042)	0,451* (0,021)	0,404* (0,027)	1,832* (0,095)
Edad	0,979* (0,001)	0,983* (0,003)	0,982* (0,001)	0,983* (0,002)	0,986* (0,001)	1,011* (0,001)	0,968* (0,001)
2. Educación Básica	1,298** (0,143)	3,716* (1,247)	2,293* (0,331)	2,996* (0,617)	1,928* (0,232)	1,071 (0,161)	2,841* (0,401)
3. Educación Media	0,737* (0,078)	4,626* (1,522)	3,121* (0,434)	4,704* (0,939)	1,993* (0,23)	1,046 (0,153)	4,875* (0,657)
4. Educación Superior	0,234* (0,025)	2,357** (0,792)	1,776* (0,246)	2,754* (0,552)	1,051 (0,12)	0,562* (0,083)	2,672* (0,358)
5. Posgrado	0,146* (0,027)	1,516 (0,81)	0,513* (0,13)	1,331 (0,411)	0,508* (0,089)	0,378* (0,086)	0,791 (0,166)
2. Ingreso medio	0,509* (0,028)	0,635* (0,079)	0,628* (0,038)	0,614* (0,046)	0,557* (0,03)	0,856** (0,066)	0,366* (0,02)
3. Ingreso alto	0,136* (0,013)	0,171* (0,052)	0,149* (0,018)	0,279* (0,04)	0,188* (0,016)	0,552* (0,066)	0,054* (0,005)
2. Un Vehículo motorizado	0,056* (0,004)	0,065* (0,009)	0,052* (0,004)	0,049* (0,004)	0,051* (0,003)	0,08* (0,007)	1,455* (0,131)
3. Dos o más Vehículo motorizados	0,024* (0,002)	0,034* (0,007)	0,022* (0,002)	0,016* (0,002)	0,024* (0,002)	0,025* (0,003)	1,801* (0,176)
Constante	933,416* (122,204)	0,336* (0,128)	3,015* (0,492)	0,836 (0,188)	20,514* (2,838)	6,286* (1,139)	1,574* (0,254)

Nota: RRR Modo Auto Particular (base outcome)

Pruebas: * <0.01 ** <0.05 ***<0.1

Valores en parentesis corresponden a la Errores Estandar.

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA

2017

Anexo 3

Efecto marginal promedio (Average Marginal Effect)

Average marginal effects

Model VCE: OIM

Number of obs = 33,065

Variable / Delta-method	A pie	Bicicleta	SITVA	Metro	Bus	Taxi	Auto Particular	Moto
Tiempo promedio en modo	-0.0097939 (0.0001063)	-0.0000647 (0.0000244)	0.0036545 (0.000059)	0.0012862 (0.0000408)	0.0043046 (0.0000756)	-0.0001072 (0.000045)	0.0005835 (0.0000659)	0.0001371 (0.0000733)
Sexo	0.0441021 (0.0039492)	-0.0242829 (0.0022528)	0.0208533 (0.0032646)	-0.0043736 (0.0022255)	0.0558432 (0.0042289)	0.0162592 (0.0021253)	-0.0193781 (0.0029379)	-0.0890231 (0.0031973)
Edad	-0.0009371 (0.0001006)	0.00000216 (0.0000312)	-0.0002844 (0.0001012)	-0.0000664 (0.0000707)	0.0004834 (0.0001207)	0.0010431 (0.0000593)	0.0014664 (0.0000859)	-0.0017072 (0.0001006)
2. Nivel de escolaridad	-0.0490212 (0.0091455)	0.0057929 (0.0016395)	0.0214297 (0.0069826)	0.014363 (0.0039996)	0.0254331 (0.009399)	-0.0157278 (0.0053416)	-0.0443523 (0.0086766)	0.0420825 (0.0056946)
3. Nivel de escolaridad	-0.1612404 (0.0090015)	0.0092785 (0.001701)	0.0490808 (0.0068918)	0.0315362 (0.0040172)	0.0333211 (0.0092429)	-0.0126348 (0.0054013)	-0.0486399 (0.0083851)	0.0992984 (0.0056019)
4. Nivel de escolaridad	-0.2387584 (0.0094348)	0.0098703 (0.0019836)	0.0581597 (0.0072718)	0.0370779 (0.0043525)	0.0401153 (0.0097347)	-0.0098436 (0.0056448)	0.0066047 (0.0085618)	0.096774 (0.0058589)
5. Nivel de escolaridad	-0.2130459 (0.0206422)	0.0128925 (0.0071784)	0.0031174 (0.0161292)	0.0377528 (0.0128419)	0.032696 (0.0223187)	-0.0006156 (0.0102069)	0.0972636 (0.0141441)	0.0299392 (0.0119573)
Ingreso medio	-0.0203204 (0.0047109)	0.0015701 (0.0013841)	0.0091488 (0.0038976)	0.0024316 (0.0026258)	-0.0077803 (0.0050238)	0.0163758 (0.0025989)	0.0529675 (0.0035025)	-0.0543931 (0.0037281)
Ingreso alto	-0.0791537 (0.0108942)	-0.0016384 (0.0028658)	-0.034459 (0.0082102)	0.0157592 (0.0073217)	-0.0213666 (0.01158)	0.0514999 (0.0078064)	0.1983218 (0.0075332)	-0.1289632 (0.0042545)
2. Vehículo motorizado en el hogar	-0.1354259 (0.0047532)	-0.0072181 (0.0013845)	-0.0627203 (0.0038645)	-0.0313405 (0.0027291)	-0.1320369 (0.0050567)	-0.0105082 (0.002769)	0.1624578 (0.0037421)	0.216792 (0.0039782)
3. Vehículo motorizado en el hogar	-0.2169913 (0.0068579)	-0.0101792 (0.0016422)	-0.0952895 (0.0050067)	-0.0491412 (0.0030504)	-0.1825308 (0.0066783)	-0.0323533 (0.002989)	0.2254851 (0.0065958)	0.3610002 (0.0081799)

Note: dy/dx for factor levels is the discrete change from the base level.

Expression : Pr(modo==modos), predict(outcome(*))

dy/dx w.r.t. : time_mm sexo edad 2.escolaridad_max 3.escolaridad_max 4.escolaridad_max

Nota. Elaboración de los autores con los resultados de Encuesta Origen Destino en el AMVA

2017