



Ares
METROPOLITANA
Valle de Aburrá
PURA VIDA



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

JOHN WILLIAN BRANCH BEDOYA
Vicerrector
Universidad Nacional de Colombia
Sede Medellín

JORGE ELIECER CÓRDOBA MAQUILÓN
Director del Departamento de Ingeniería Civil
Facultad de Minas
Grupo de Investigación Vitra, modelación de demanda línea F del metro

IVÁN SARMIENTO ORDOSGOITIA
Departamento de Ingeniería Civil
Facultad de Minas
Director Grupo de Investigación Vitra
Coordinador del estudio de demanda de la línea F del Metro

LAURA INÉS AGUDELO VÉLEZ
Departamento de Ingeniería Civil
Investigadora Grupo de investigación Vitra
Coordinadora Encuesta para la línea F del Metro. Analista

OSCAR EMILIO ARBELÁEZ ARENAS
Contratista. Modelos de Elección Discreta

ALMA VALLADARES MEJÍA
Contratista. Información para el modelo. Informe parcial

URIEL DARÍO ESCUDERO MONSALVE
Contratista. Manejo de Bases de Datos

DANIELA SOFÍA JURADO RAMÍREZ
Contratista. Cálculo demanda desviada de líneas A, B, J, K, L y Metroplús

LINDA MONTERO PULGARÍN
Contratista. Grupos focales

KATHERINE LINEY PALACIO PINO
Contratista. Análisis de demanda de modelos

JUAN ESTEBAN SUAREZ LÓPEZ
Contratista. Apoyo en programación de encuestas

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	OBJETIVOS, ALCANCE Y METODOLOGÍA.....	6
	OBJETIVOS GENERALES	6
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
	Objetivos específicos del Objetivo General 1	6
	Objetivos específicos del Objetivo General 2	6
	Objetivos específicos del Objetivo General 3	6
	ALCANCE.....	7
	METODOLOGÍA.....	8
3.	TRAZADO, ESTACIONES Y ZONA DE INFLUENCIA DIRECTA	9
	TRAZADO Y LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES	9
	DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	11
	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ZONA DEL PROYECTO	13
4.	REVISIÓN DE LA ENCUESTA ORIGEN DESTINO DEL VALLE DE ABURRÁ 2012, GRUPOS FOCALES Y DISEÑO DE ENCUESTA.	15
	REVISIÓN DE LA ENCUESTA O/D DEL VALLE DE ABURRÁ 2012	15
	Consideraciones iniciales	15
	Caracterización de no usuarios – residentes	15
	Género – Estrato.....	15
	Caracterización de no usuarios – no residentes	17
	Tiempos de viaje para modos diferentes del Metro.....	19
	Tiempos de viaje para modo Metro	20
	Porcentaje de viaje por modo.....	20
	GRUPO FOCAL	21
	Preparación del grupo focal.....	21
	Búsqueda de personal	21
	Pautas para la Realización del grupo	22
	ENCUESTA DE PREFERENCIAS REVELADAS Y DECLARADAS.....	23
	Encuestas de preferencias reveladas (PR) y declaradas (PD)	23
	Caracterización Socioeconómica	23

Caracterización del viaje principal	24
Ubicación de lugares de encuesta	25
Variables explicativas y niveles de variación	26
Encuesta piloto	27
5. MODELACIÓN DE LA DEMANDA CON DATOS DE LAS ENCUESTAS DE PREFERENCIAS REVELADAS Y DECLARADAS.....	28
RESULTADOS ENCUESTAS.....	28
Género	29
Rango de edad	29
Ocupación	30
Origen de viaje	30
ESTIMACION DE LA DEMANDA POTENCIAL PARA LA LINEA F DESDE OTROS MODOS	32
Formulación de los modelos de elección discreta.....	32
Estimación de los modelos	37
Probabilidades de elección de los modos.....	44
6. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DESVIADA DE OTRAS LINEAS DE METRO Y METROPLUS	47
REVISIÓN DE LA ENCUESTA ACTUAL DE METRO 2014	47
CARACTERIZACIÓN DE VIAJES EN METRO	47
ESTIMACIÓN DE USUARIOS QUE PASAN DE OTRAS LINEAS A LA NUEVA LINEA F	48
7. DEFINICIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DE LA LINEA.....	51
8. COMPARACIÓN CON LA DEMANDA OBTENIDA POR EL ÁREA METROPOLITANA	52
9. CONCLUSIONES.....	56
10. BIBLIOGRAFÍA	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localización de la nueva línea	10
Figura 2: Zonas SIT de influencia directa de la nueva línea en estudio	12
Figura 3: Localización de los puntos correspondientes al registro fotográfico.	13
Figura 4: Escenario comparativo	14
Figura 5: Distribución de los viajes por sexo/estrato del individuo - No Usuarios Residentes.....	16
Figura 6: Distribución de los viajes por edad/estrato del individuo - No Usuarios Residentes.....	16
Figura 7: Distribución de los viajes por ocupación del individuo - No Usuarios Residentes	17
Figura 8: Distribución de los viajes por género/estrato - NUNR.....	18
Figura 9: Distribución de los viajes por edad/estrato - NUNR.....	18
Figura 10: Distribución de los viajes por ocupación del individuo - NUNR.....	19
Figura 11: Interfaz empujada en las encuestas de preferencias reveladas	23
Figura 12: Distribución de los viajes por sexo/ encuesta del estudio.....	29
Figura 13: Distribución de los viajes por edad/ Encuesta del estudio	29
Figura 15: Distribución de los viajes por ocupación del individuo	30
Figura 16: Distribución de los viajes por origen	30
Figura 17: Distribución de viajes provenientes de medellín a la zona del proyecto por comuna de origen....	31
Figura 18: Partición modal de la encuesta	32
Figura 19: Grupos estaciones empleados para estimar demanda desviada encuesta OD Metro.....	48
Figura 20: Número de viajes transferidos a la Línea F.....	50
Figura 21: Cargas del sistema	54
Figura 22: Cargas de acceso en las estaciones de la Línea F	54

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio pretende encontrar la demanda de pasajeros que estarían dispuestos a emplear una nueva línea que prevé poner en funcionamiento el Metro de Medellín, la cual se ha denominado Línea F o corredor Férreo. Dicha Línea haría parte del tren suburbano o cercanías planteado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. A 2016, el Metro de Medellín tiene dos líneas principales en la tecnología tipo metro, denominadas Línea A; que funciona de norte a sur; y la Línea B; que va desde el centro de la ciudad al occidente. Además, cuenta con dos líneas de Metrocable en oriente (Línea K) y occidente (Línea J).

Desde los inicios del sistema existió una línea de enlace entre las líneas A y B, que operó comercialmente algunos años en períodos pico. Dicha línea fue denominada línea C. Desde 2015, debido a la necesidad de trenes en la línea A, la línea C dejó de operar comercialmente, aunque desde hace más de 15 años ha existido un proyecto de transformar la línea de enlace entre las líneas A y B, en una verdadera línea de operación continua con nuevas estaciones, entre las que se cuenta la estación Universidad Nacional. Es así como la Universidad ha participado desde el año 2000 en estudios tales como la estimación de la demanda de la línea C, de la demanda de la nueva estación de la Universidad Nacional, y de los diseños de dicha estación.

Paralelamente, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, como autoridad del transporte masivo en la región metropolitana, desde el plan maestro de movilidad 2006-2020, y en su actualización a 2030, dejó establecido que por el corredor del río debía transcurrir un tren de cercanías y un tren nacional, como reconocimiento a las reservas que antiguos planes establecieron para dicho corredor. Estos corredores también fueron incorporados en los planes maestros del metro de 2006-2020 y en su reciente actualización a 2030.

Dada la coyuntura de la construcción del proyecto Parques del río Medellín (2015-2017), el cual tenía que intervenir el corredor del río para soterrar parte del corredor vial, se planteó enseguida el desarrollo de un proyecto como era el de definir una línea para los servicios del tren suburbano (o tren de cercanías) y el tren nacional. A esta línea se le denominó línea F o corredor Férreo, la cual, en su primera fase, parte de la estación Caribe, utiliza parte de la llamada línea C, pero que en vez de enlazarse con la línea B hacia la estación suramericana, lo haría en nuevo trazado a la altura de Macarena después de cruzar el río y en forma soterrada, por ese costado oriental del río, transcurriría hasta la estación Industriales. Posteriormente se desarrollaría su extensión al Norte de Caribe y al Sur de Industriales.

Esta primera fase de la Línea F entre Caribe e Industriales, se convertirá en una alternativa paralela a la actual Línea A. Por su trazado aparece una nueva zona de influencia del proyecto entre Caribe y Macarena, que no se encuentra cubierta por las líneas existentes, por tanto, servirá a los residentes de la misma y a los no residentes que trabajan, estudian o se movilizan desde y hacia dicha zona por diversos motivos.

El presente estudio aborda la estimación de la demanda de la línea F en tres partes. Primero, la demanda de la nueva zona de influencia entre Caribe y Macarena, a partir de la toma de datos primarios del 2016 y la construcción de un modelo de elección discreta para la elección de modo. Además, como segunda parte, esta nueva línea podrá ser empleada por los usuarios actuales del metro que presentarían reducción en su tiempo de viaje al tomar la nueva línea.

Adicionalmente, como tercera parte, si los trenes de la nueva línea F circulan entre Niquía y La Estrella, la línea presentaría una alternativa para aquellos usuarios de metro a los que les sea indiferente el uso de las dos líneas.

El análisis se complementa además con los resultados del Área Metropolitana para la estimación de la demanda de la misma línea a partir de una metodología diferente como es la estimación de la demanda a partir de un modelo de demanda multimodal y de red calibrado para el año 2012. Además, cuenta con dos líneas de Metrocable en oriente (Línea K) y occidente (Línea J), un tranvía (línea T) y opera por delegación del municipio las líneas L1 y L2 de buses de Metroplus en tecnología de buses.

El presente documento se ha estructurado en capítulos. Después de esta introducción, en el Capítulo 2 se presentan los objetivos, alcance y metodología del estudio, en el Capítulo 3 se hace una descripción del trazado de la línea y la localización de las estaciones, la definición de la zona de estudio y se presenta el registro fotográfico. En el Capítulo 4 se hace la revisión de la encuesta Origen Destino del Área Metropolitana (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012) los grupos focales y el diseño de la encuesta piloto para el área de influencia, con la cual se obtienen los pasajeros que cambian de línea para usar la línea F. En el Capítulo 5 se presenta la estimación de la demanda transferida del modo Metro mediante los modelos de elección discreta. En el Capítulo 6 se presentan los resultados de las encuestas realizada en el estudio con un estadístico de la población encuestada. En el Capítulo 7 Estima la demanda potencial para la línea F transferida desde otras líneas existentes del SITVA. En el Capítulo 8 se hace la comparación de los resultados de demanda anteriores con la demanda obtenida por el Área metropolitana del Valle de Aburrá con su modelo multimodal. El Capítulo 9 se expone las conclusiones del estudio. Para finalizar se anexa la bibliografía empleada en el estudio.

2. OBJETIVOS, ALCANCE Y METODOLOGÍA

OBJETIVOS GENERALES

1. Estimar, mediante encuestas 2016 y modelos de elección discreta, la demanda de nuevos usuarios, por sentido, para la nueva “línea F” del Metro de Medellín hacia y desde la zona de influencia del tramo de nueva construcción de la línea.
2. Estimar con base en la encuesta Origen-Destino de usuarios actuales del Metro de Medellín 2014, la demanda de pasajeros que se transferirían a la línea F.
3. Analizar los resultados de la estimación de la demanda de la Línea F del Área Metropolitana, realizada con las simulaciones del modelo de red multimodal calibrado del 2012.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivos específicos del Objetivo General 1

- Realizar la Caracterización de los viajes desde y hacia la zona de estudio, por medio de la encuesta Origen-Destino (2012) del Área Metropolitana (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012).
- Realizar estadísticas a partir de las encuestas de preferencias reveladas y declaradas, en la zona del proyecto.
- Estimar y obtener un ranking de modelos de elección discreta para la elección modal de los individuos usando modelos Logit Multinomiales (MNL) y Logit Mixtos (MXL).

Objetivos específicos del Objetivo General 2

- Obtener estadísticas acerca de los usuarios actuales de Metro a partir de la encuesta origen destino del Metro de Medellín en el año 2014 (Metro de Medellín, 2014).
- Obtener el número de usuarios actuales del Metro que pasarían a ser usuarios de la nueva línea F empleando el tramo de nueva construcción Caribe-Industriales como tramo de paso para conectar Norte y Sur.
- Obtener el número de usuarios actuales del Metro que pasarían a ser usuarios de la nueva línea F para realizar transferencia en la estación Macarena hacia la línea B.
- Obtener el número de usuarios actuales del Metro que pasarían a ser usuarios de la nueva línea F para realizar transferencia en la estación Industriales hacia Metroplús con el fin de conectarse con las líneas que sirven al tramo Industriales-U de Medellín e Industriales centro.
- En caso de que la línea F funcione desde Niquía hasta la Estrella, obtener el número de usuarios actuales del Metro que pasarían a ser usuarios de la nueva línea F por tener orígenes y destinos en el tramo Niquía-Caribe o por tener orígenes y destinos en el tramo Industriales-Estrella.

Objetivos específicos del Objetivo General 3

- Analizar el valor de demanda de la línea F con el modelo de red del Área Metropolitana y su comparación con el resultado de los objetivos 1 y 2.
- Analizar posibles escenarios de operación de las líneas en acuerdo con el Área Metropolitana.

ALCANCE

Se ha delimitado el proyecto al análisis en seis tipos de usuarios:

- **Nuevos usuarios residentes en la zona de influencia de la línea:** Se refiere a las personas residentes en la zona que actualmente y por diferentes razones no utilizan el metro como modo de transporte en algunas etapas de su viaje y que empezarán a utilizarlo.
- **Nuevos usuarios no residentes en la zona de influencia de la línea:** son las personas que tienen como destino de trabajo o estudio la zona de influencia de la línea, pero que actualmente no utilizan el metro para llegar a ese destino.
- **Usuarios actuales de metro:** que cambian de línea A pasando a utilizar la nueva línea F para conectarse más rápido entre estaciones del Norte y del Sur.
- **Usuarios actuales de metro:** que cambian de línea A a la línea B y para ello usan la línea F, haciendo su transferencia en Macarena, evitando el transbordo en San Antonio.
- **Usuarios actuales de metro:** que cambian de las líneas A y Metroplús haciendo su transferencia en Industriales para tomar la línea F hacia el Norte y viceversa.
- **Usuarios actuales de metro:** que indistintamente usan línea A o línea F en tramos comunes de las dos líneas en el Norte y en el Sur.

Día laboral promedio Se realiza el trabajo de campo o de obtención de información en un día laboral promedio, asumiendo que en esos días las personas se movilizan habitualmente a su lugar de trabajo y estudio.

La modelación con un **modelo de red** como el que posee el Área metropolitana permitirá a dicha institución estimar la demanda considerando proyectos futuros de red como el tranvía de la 80, el Metroplús del sur, el cable del picacho, etc. Estos proyectos no están incluidos en la modelación con la situación actual que realiza la Universidad Nacional en el área de influencia y con los usuarios actuales de Metro que pueden cambiar de línea, de punto de transbordo o ambos.

El modelo de elección discreta que será empleado en este estudio permite evaluar y simular cualquier situación hipotética que se quiera incluir, pero por motivos de alcance, se parte de una situación conservadora en la que los individuos para escoger la línea F sólo considerarán los modos y líneas actuales disponibles.

METODOLOGÍA

Inicialmente el Área Metropolitana y el Metro definieron el trazado de la línea y sus estaciones (ver Apartado 3.1). Como segundo paso se definió el polígono correspondiente a la zona de estudio, empleando el trazado entregado por dichas entidades. Para ello se usó la zonificación de zonas SIT (Ver Apartado 3.1). Posteriormente se realizó el registro fotográfico en el polígono delimitado (Ver Apartado 3.2).

En tercer lugar, a partir de la encuesta Origen-Destino de hogares realizada por el Área Metropolitana y la Universidad Nacional en 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), tomando las zonas SIT incluidas dentro del polígono de la zona de estudio, se obtuvo, para los individuos que se movilizan desde y hacia la zona, una caracterización (ver Apartado 4.1.2 Y 4.1.3) que incluyó: edad, sexo, estrato socioeconómico, modo principal de viaje, ocupación y lugar de origen del viaje y del destino del mismo. Esta caracterización sirvió para el diseño de los grupos focales (Apartado 4.2).

Realizado el grupo focal, se efectuó el diseño de las encuestas considerando las variables encontradas, y se efectuó una prueba piloto que permitió encontrar puntos a mejorar en la encuesta y modificarlos previamente, también fueron definidos los lugares para su realización, con lo cual se diseñó el software de captura. Una vez desarrollado el software de captura se capacitó al personal encargado de realizar las encuestas (Apartado 4.3.4), y se hace contacto con las entidades seleccionadas para llevarlas a cabo al interior de las mismas, ya que estas entidades representan la mayor parte de la zona de influencia del proyecto, la cual también tiene unas cuantas zonas residenciales.

Para la encuesta definitiva se contó con una muestra de alrededor de 1800 personas encuestadas, las cuales fueron interrogadas en su lugar de trabajo, estudio o residencia. Las encuestas constaron de dos partes, una con preferencias reveladas (lo que hacen las personas hoy) y otra con preferencias declaradas (lo que harían en el caso hipotético de que funcione la línea F).

Una vez recolectada la información de las encuestas se realizó la síntesis de dicha información para introducirla en los modelos de elección discreta los cuales utilizaron la teoría de la utilidad aleatoria para determinar la probabilidad de uso de la nueva línea (Capítulo 5). Simultáneamente se realizó el procesamiento de la información de la encuesta origen destino del metro obteniendo los usuarios existentes que se transferirán a la nueva línea (Capítulo 6).

A la demanda captada de otros modos en el área de influencia y hacia el área de influencia, se le debe sumar los usuarios de las otras líneas existentes de Metro, que serán transferidos a la línea F, esta representará el total de la demanda de la nueva línea (Capítulo 7).

3. TRAZADO, ESTACIONES Y ZONA DE INFLUENCIA DIRECTA

TRAZADO Y LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES

El proyecto de nueva construcción en esta primera fase discurre desde la estación Caribe hasta la estación Industriales, siguiendo gran parte de la actual línea auxiliar C que permite llevar los trenes de la Línea B hacia los talleres de mantenimiento del metro en la línea A, para luego cruzar el río Medellín, pasar por Macarena y soterrarse hasta la estación Industriales.

El trazado esquemático de la línea F es mostrado en la Figura 1: Localización de la nueva línea; este comienza en la estación Caribe, y cuenta con tres estaciones intermedias el trazado incluye:

- *Estación Distrito*

Zona industrial, institucional y educativa que va desde las inmediaciones de la Secretaría de Movilidad donde se localizará la primera estación independiente de la línea, *Distrito*

- *Estación Universidad Nacional*

La Universidad Nacional de Colombia, campus Volador y El Río, sirviendo también a la Minorista, el SENA, barrio residencial Carlos E Restrepo y a la Biblioteca Pública Piloto, en esta zona será ubicada la segunda estación Universidad Nacional.

- *Estación Macarena*

Finalmente, al cruzar el trazado al costado oriental del río Medellín, pasa por la plaza Macarena, tercera estación, donde a través de puentes peatonales sobre el río Medellín podrá dar acceso al sector de suramericana.

A continuación, se presenta la figura 1 en donde se esquematiza el trazado de la nueva Línea y la localización de las nuevas estaciones.

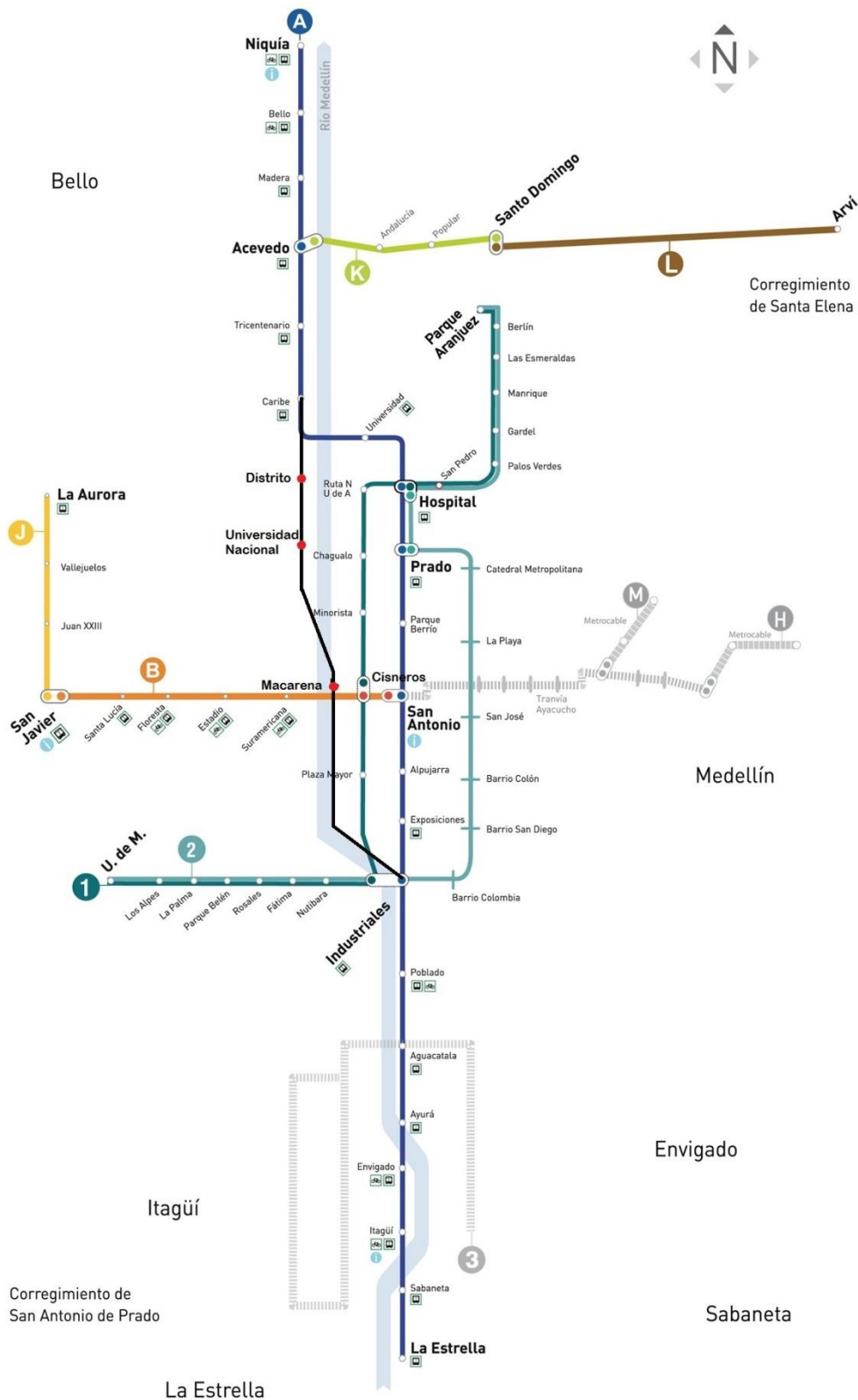


Figura 1: Localización de la nueva línea

Fuente: www.metrodemedellin.gov.co/Portals/4/Images/Viajeconnosotros/Mapa-ciudad-grande-09-06-2016.jpg, elaboración propia

DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La información utilizada para zonificar el proyecto es tomada de la encuesta Origen y destino, realizada en 2012 por la Universidad Nacional para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), en la cual se efectuó la zonificación de la ciudad en polígonos homogéneos, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El uso del suelo.
- Las barreras físicas o naturales.
- Puntos atractores de viajes en la ciudad.
- Proyectos de expansión a futuro planteados en el POT de cada municipio.
- Las zonificaciones anteriores.

Los 456 polígonos resultantes llevan el nombre de zonas SIT (Sistema Integrado de Transporte). A continuación, se presentan los códigos y nombres de los que serán directamente afectadas por la inclusión de la nueva línea de metro.

Tabla 1: Zonas SIT de afectación directa de la nueva línea

Código Zona SIT	Nombre Zona SIT	Comuna
30	San Benito	10- Candelaria
130	El Chagualo	10- Candelaria
141	San Benito	10- Candelaria
142	San Benito	10- Candelaria
151	Corazón de Jesús	10- Candelaria
152	Corazón de Jesús	10- Candelaria
161	La Alpujarra	10- Candelaria
1370	Naranjal	11-Laureles Estadio
1380	Suramericana	11-Laureles Estadio
1390	Suramericana	11-Laureles Estadio
1400	Carlos E Restrepo	11-Laureles Estadio
1590	Universidad Nacional	7-Robledo
1801	Caribe	5-Castilla
1802	Caribe(terminal)	5-Castilla
3160	La Iguaná	7-Robledo

Fuente: Elaboración propia a partir de zonificación OD 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012)

Para tener referentes físicos de la zonificación del proyecto se definió un polígono, delimitado por la carrera 65, la carrera 56A en sentido Oriente occidente, la terminal del norte y la calle 44 (avenida San Juan), ver Tabla 2 y Figura 2.

Tabla 2: Referentes físicos de zonificación del proyecto.

Zona Referente	Descripción
Terminal del Norte	Desde la carrera 65 hasta la Autopista Norte
Minorista	Allí se ensancha la zona del proyecto para incluir a la Minorista, quedando la zona entre la carrera 65 y la carrera 56(Av. Del Ferrocarril)
Avenida San Juan y EPM	El polígono de la zonificación cierra sobre la calle 44 (San Juan), solamente integrando hacia el sur el edificio de EPM

Fuente: Elaboración propia

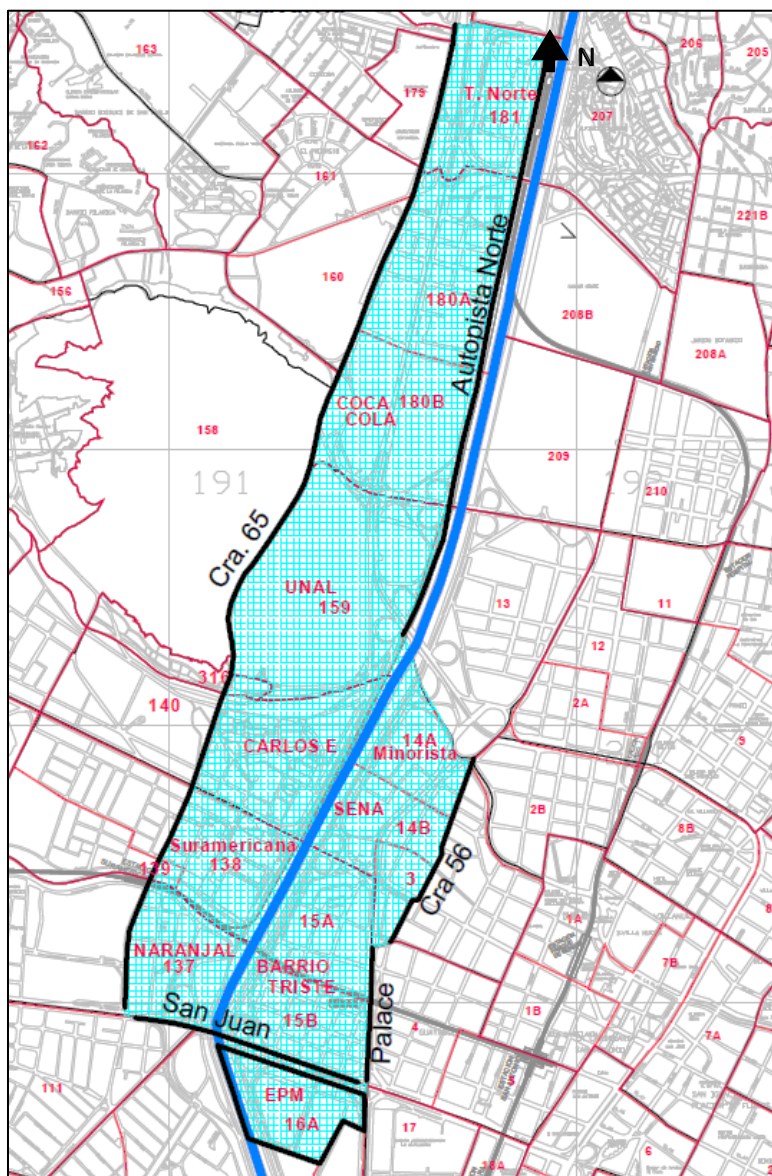


Figura 2: Zonas SIT de influencia directa de la nueva línea en estudio

Fuente: Mapa zonas SIT 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012)- Elaboración propia

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ZONA DEL PROYECTO

Con el fin de conocer la percepción de seguridad que tienen las personas en su movilización a pie por las diferentes calles incluidas en el área de estudio, se hizo un registro fotográfico. Se clasificó el recorrido en espacios vacíos y con transeúntes. Este registro fotográfico fue tomado el día domingo 20 de diciembre de 2015 para captar espacios vacíos y el día lunes 21 de diciembre de 2015 para el registro de espacios con transeúntes y actividades de un día normal. El recorrido hecho en los días mencionados puede ser observado en la Figura 3, los puntos amarillos corresponden al recorrido del día domingo y rojos son al día lunes.

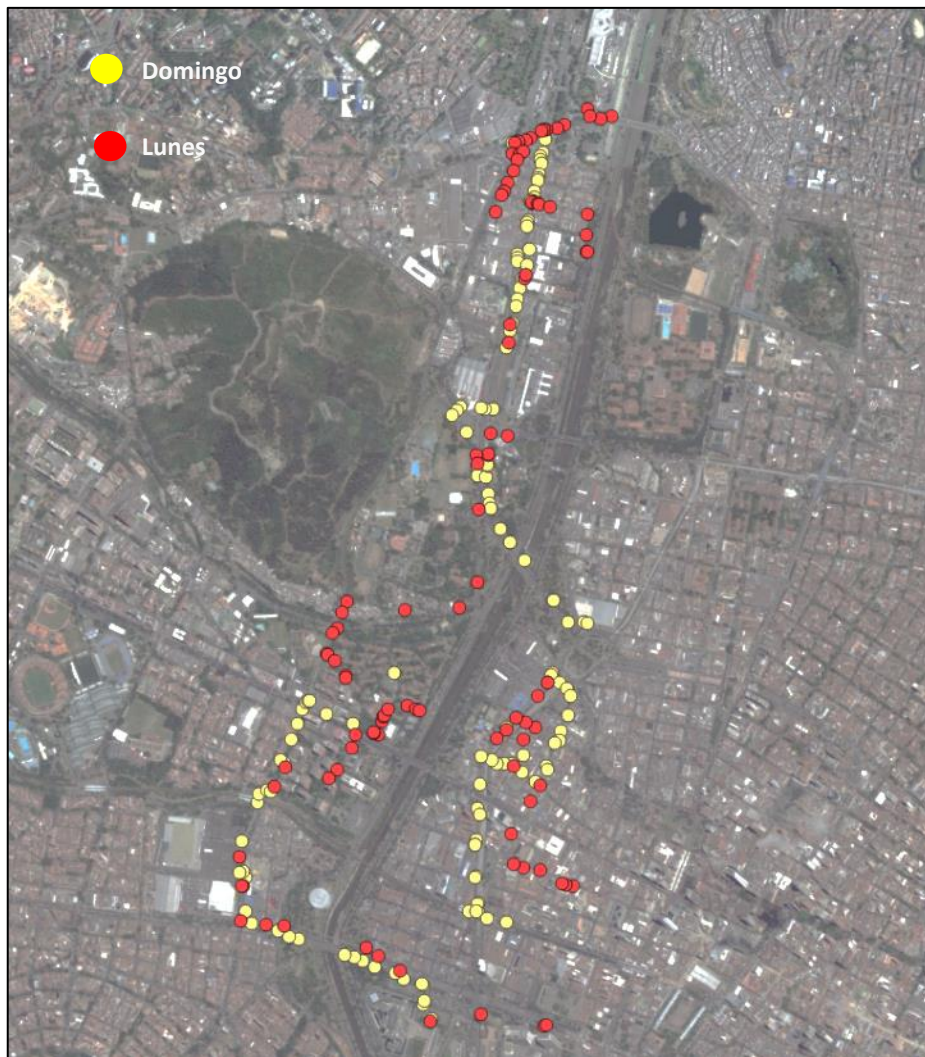


Figura 3: Localización de los puntos correspondientes al registro fotográfico.

Fuente: Elaboración propia

Se tomaron fotografías de lugares y situaciones que tienen influencia positiva y negativa en la percepción de seguridad de las personas. Estas se mencionan a continuación:

- Zonas exteriores de metro
- Lugares Concurridos

- Cuadras arborizadas
- Zonas Residenciales
- Zonas de comercio
- Barreras Visuales prolongadas
- Cercas vivas.
- Lugares solitarios.
- Cuadras sin arborización
- Zonas Industriales.

En la Figura 4: Escenario comparativo, ambas imágenes muestran el mismo establecimiento captado en días distintos, en la imagen de la izquierda se aprecia el sitio solitario, sin vehículos estacionados, caso contrario en la imagen de la derecha que tiene peatones y vehículos estacionados. Escenarios como estos podrán ser tenidos en cuenta en investigaciones futuras para determinar la influencia de la variable seguridad en la modelación, pero no son del alcance del presente estudio.



Figura 4: Escenario comparativo
Fuente: Registro fotográfico del estudio

4. REVISIÓN DE LA ENCUESTA ORIGEN DESTINO DEL VALLE DE ABURRÁ 2012, GRUPOS FOCALES Y DISEÑO DE ENCUESTA.

REVISIÓN DE LA ENCUESTA O/D DEL VALLE DE ABURRÁ 2012

Consideraciones iniciales

Cuando se planea una nueva línea de Metro, uno de los principales intereses es conocer cuántos nuevos usuarios que hoy no usan metro, podrían usar dicha línea. Empleando la encuesta OD del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), se identificaron las características de los individuos cuyos pares origen y destino incluyen al menos uno dentro de las zonas SIT del estudio, lo cual representa los viajes realizados desde y hacia el polígono. De esta manera fue posible caracterizar los individuos que tienen viajes que incluyen al polígono de estudio, en dos grupos *no usuarios del metro/residentes* y *no usuarios del metro/no residentes*, con los cuales se planteó la realización del grupo focal. En cuanto a los usuarios de metro fue empleada la encuesta origen-destino del Metro de Medellín 2014 (Metro de Medellín, 2014), ver Capítulo 6.

De la encuesta OD 2012 también se obtuvieron los tiempos de viaje máximo, mínimo y promedio hacia el polígono de estudio para los modos: auto, moto, bus, microbús, Metroplús, taxi, y otros motorizados. De la misma manera se obtuvo estos tiempos para el modo Metro. Para el estudio fue necesario calcular el porcentaje de viajes por modo. Lo anterior consistió en un insumo para la realización de la encuesta en la sección de preferencias declaradas.

Caracterización de no usuarios – residentes

Para la caracterización de no usuarios, del total de individuos con viajes realizados desde y hacia la zona de estudio, se tuvieron en cuenta los modos: auto, moto, bus, microbús, Metroplús, taxi, otros motorizados, registrados en la encuesta origen destino. Se obtuvo una caracterización tomando en consideración los siguientes aspectos:

Género – Estrato

En la Encuesta Origen Destino 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012) se encontró que el 44% de los individuos que realizan viajes a la zona de estudio son hombres y 56% mujeres. La Figura 5: Distribución de los viajes por sexo/estrato del individuo - No Usuarios Residentes muestra que la distribución de viajes por sexo distinguiendo entre estratos socioeconómicos bajos B (1, 2, 3) y medio-alto M-A (4, 5, 6).

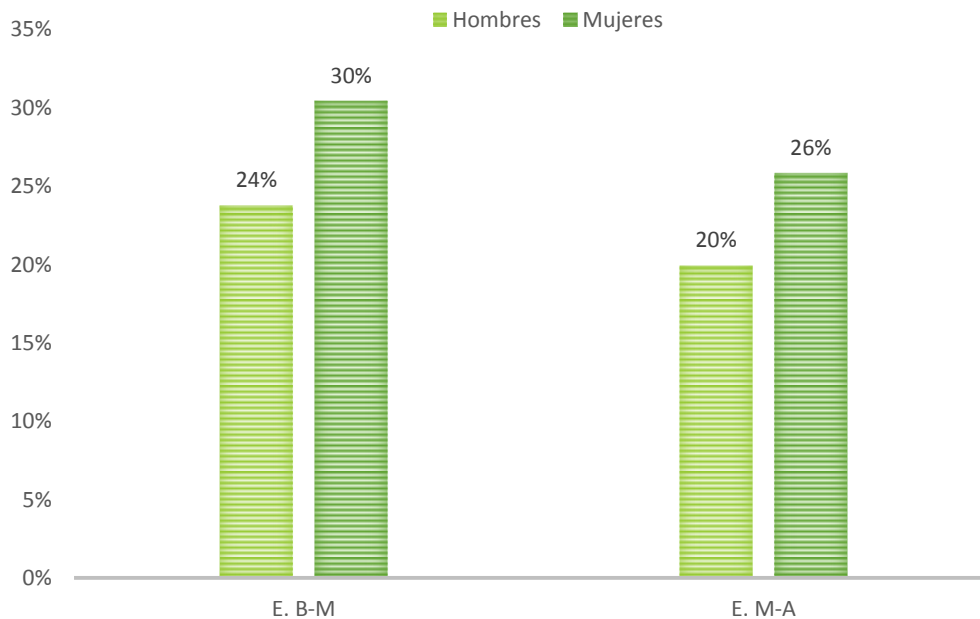


Figura 5: Distribución de los viajes por sexo/estrato del individuo - No Usuarios Residentes

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012) , Elaboración propia

Rango de edad - estrato

De los individuos que viajan a la zona de estudio, 3% son menores de 15 años, 37% están entre los 16 y 30 años, 28% personas están entre los 31 y los 45 años, un 19% son personas de 46 – 60 años y 13% son mayores a los 60 años. La figura 6 muestra la distribución de los individuos por edad para Medellín, el AMVA sin Medellín y el total.

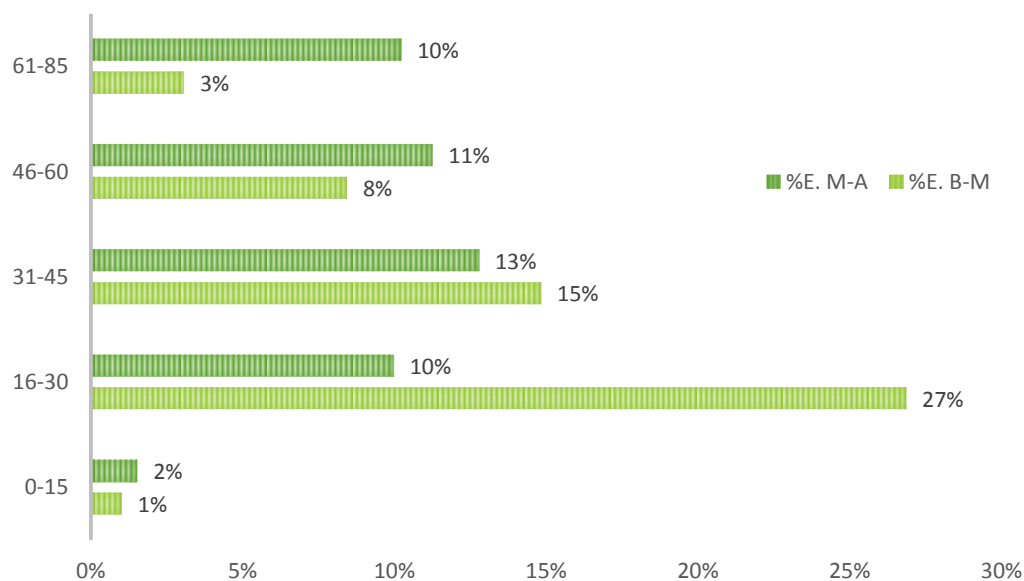


Figura 6: Distribución de los viajes por edad/estrato del individuo - No Usuarios Residentes

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), Elaboración propia

Oficio – Estrato

En cuanto al oficio de los individuos que presentan viajes a la zona del proyecto, el 52.6% correspondió a trabajadores, el 18.9% estudiantes, 11.3% jubilados, 6.6% Amas de casa, 5.9% trabajador y estudiante y 4.5% otro, entre los que destacan económicamente inactivo y desempleado. La figura 7 muestra la distribución de los individuos por ocupación para la zona de estudio, discriminado también por estrato socio económico.

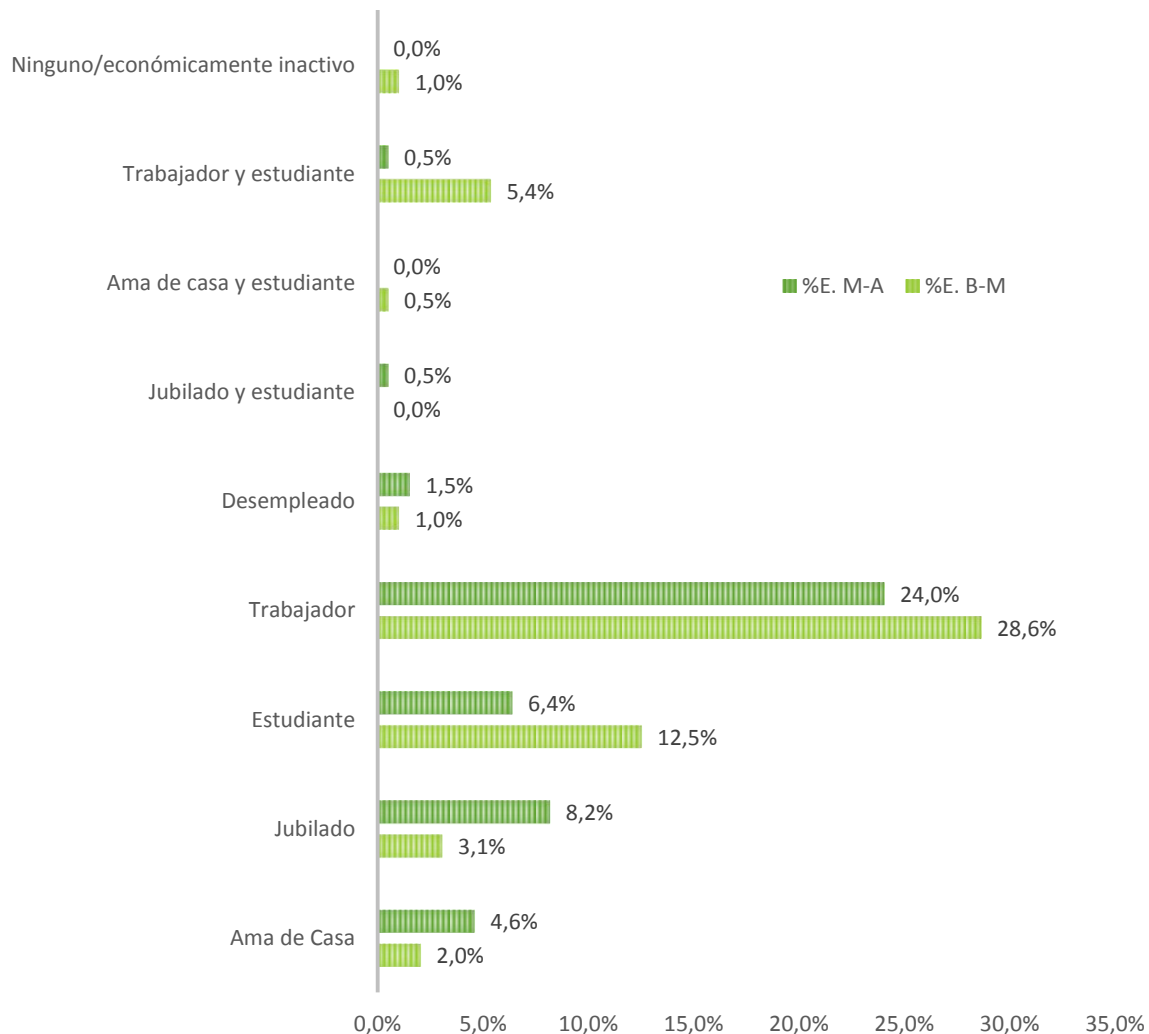


Figura 7: Distribución de los viajes por ocupación del individuo - No Usuarios Residentes

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), elaboración propia

Caracterización de no usuarios – no residentes

Para la caracterización de no usuarios No residentes (NUNR), del total de individuos con viajes realizados desde y hacia el polígono de estudio, se tuvieron en cuenta los modos: auto, moto, bus, microbús, metroplus, taxi, y otros motorizados, registrados en la encuesta OD 2012. Se obtuvo una caracterización tomando en consideración los siguientes aspectos:

Género – Estrato

En la Encuesta OD 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012) se encontró que el 43% de los individuos NUNR que realizan viajes al polígono de estudio son hombres y 58% mujeres. La figura 8 muestra que la distribución de viajes por Género distinguiendo entre estratos socioeconómicos bajos B (1, 2, 3) y medio-alto M-A (4, 5, 6).

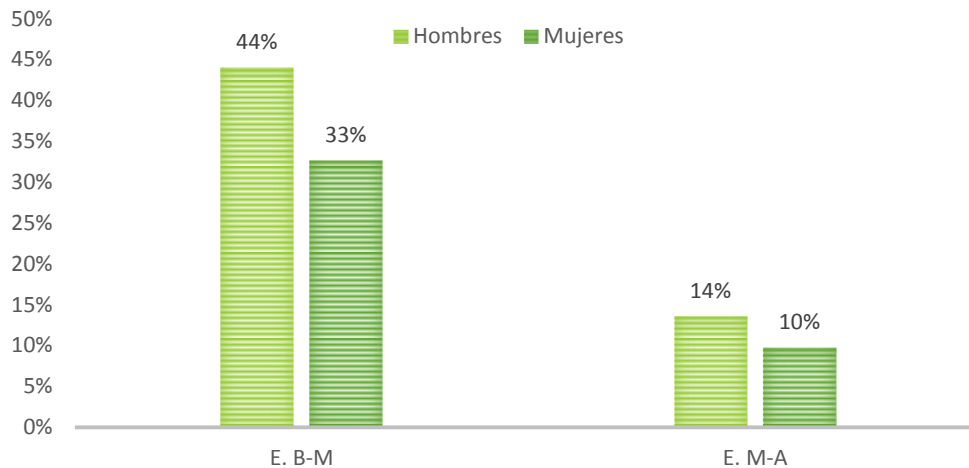


Figura 8: Distribución de los viajes por género/estrato - NUNR
Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012) , Elaboración propia

Rango de edad - Estrato

De los individuos que viajan a la zona de estudio, centro en auto, 2% son menores de 15 años, 48% están entre los 16 y 30 años, 25% personas están entre los 31 y los 45 años, un 18% son personas de 46 – 60 años y 6% son mayores a los 60 años. La figura 9 muestra la distribución de los individuos por edad para los dos grupos de estrato.

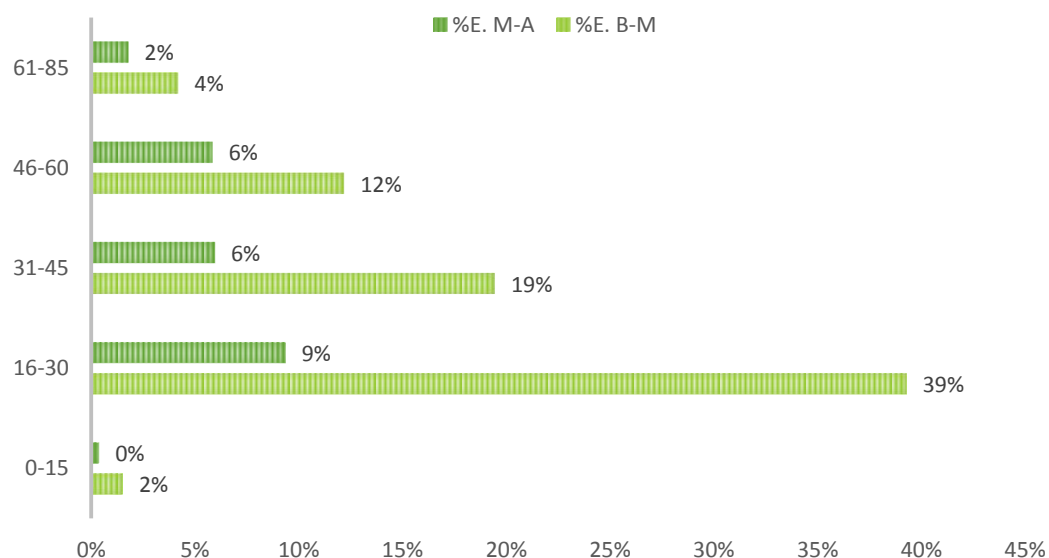


Figura 9: Distribución de los viajes por edad/estrato - NUNR
Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012) , Elaboración propia

Oficio – Estrato

En cuanto al oficio de los individuos que presentan viajes al polígono del proyecto, el 52.6% son trabajadores, el 18.9% estudiantes, 11.3% jubilados, 6.6% Amas de casa, 5.9% trabajador y estudiante y 4.5% otro, entre los que destacan económicamente inactivo y desempleado. La Figura 10 muestra la distribución de los individuos por ocupación para la zona de estudio, discriminado también por estrato socio económico. Mientras que para el caso de los residentes los motivos trabajo/estudio representaban 30% para estratos medio altos y 40% en estratos bajos, para los No residentes que visitan la zona, los motivos trabajo/estudio representan 20% para estratos medio y alto, mientras que son el 63% de los motivos para los estratos bajos.

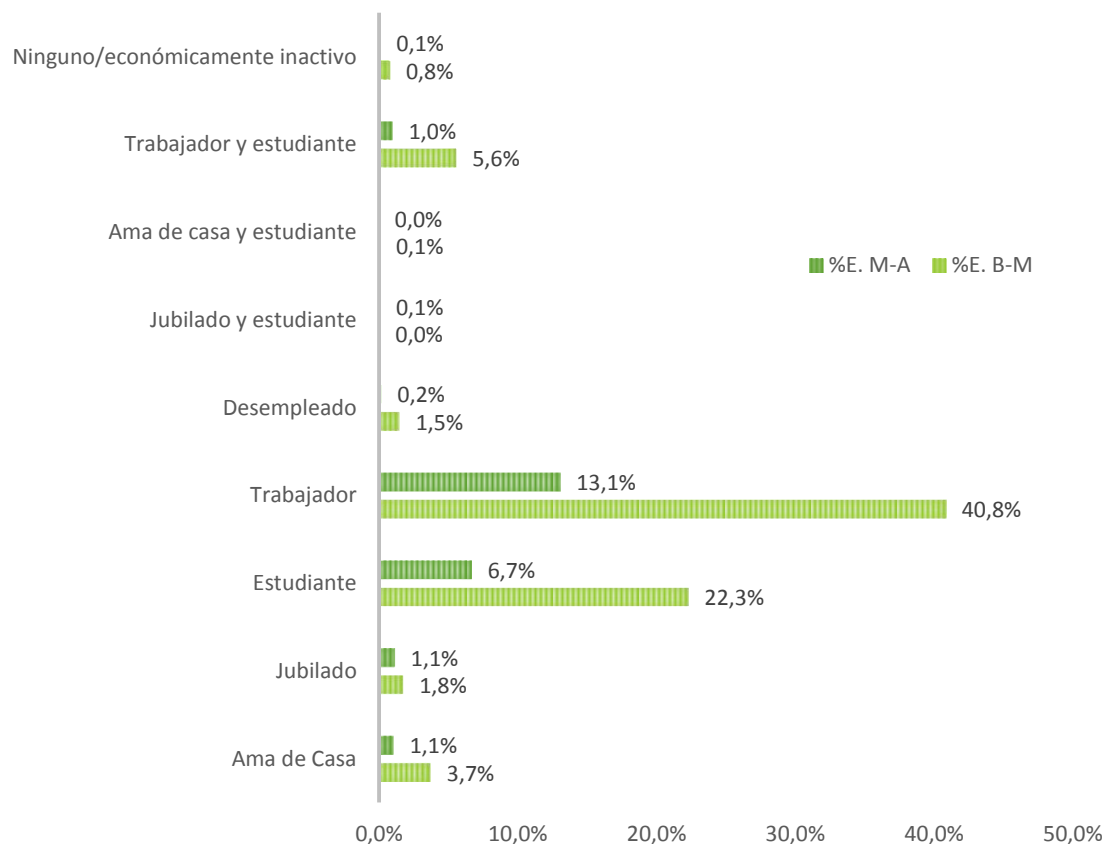


Figura 10: Distribución de los viajes por ocupación del individuo - NUNR

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), elaboración propia

Tiempos de viaje para modos diferentes del Metro

Para la elaboración de la encuesta de preferencias declaradas fue necesario estimar los tiempos de viaje máximo, mínimo y promedio para otros modos diferentes al metro, los cuales se extrajeron de la encuesta OD 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012) para esto se tomó únicamente en cuenta los modos: auto, moto, bus, microbús, Metroplús, taxi, sin tomar en cuenta los modos como caminata, transporte escolar u otros modos no motorizados. Los valores resultantes se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Tiempos de viajes para modos diferentes de Metro

Modo	Descripción	Tiempo máximo	Tiempo mínimo	Tiempo promedio
1	Auto	150	5	29
2	Moto	75	5	27
3	Bús	180	5	38
4	Microbús	120	10	46
5	Metroplús	60	15	35
6	Taxi	85	8	25
	General	180	5	33

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), elaboración propia

Tiempos de viaje para modo Metro

Para la elaboración de la encuesta, en la sección de preferencias declaradas fue necesario estimar los tiempos de viaje máximo, mínimo y promedio para modo metro, los cuales fueron extraídos de la encuesta OD 2012 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012) para esto se tomó únicamente en cuenta el modo metro. Los tiempos se presentan a continuación.

Tabla 4: Tiempos de viaje para modo Metro

Característica	Tiempo (min)
Tiempo de Viaje Máximo ¹	140
Tiempo de Viaje Mínimo	5
Tiempo de Viaje Promedio	49

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), elaboración propia

Porcentaje de viaje por modo

Para la elaboración de la encuesta de preferencias declaradas fue necesario estimar el porcentaje de viajes por modo hacia y desde el polígono de estudio, teniendo en cuenta todos los modos menos caminata, bicicleta, otros modos no motorizados. Auto, Moto, Bus, Microbús, Metroplús, Taxi y Metro.

Tabla 5: Porcentaje de viajes por modo

Modo	Descripción	Porcentaje De Viajes (%)
1	Auto	16
2	Moto	16
3	Bus	42
4	Microbús	4
5	Metroplús	2
6	Taxi	7
7	Metro	11
	Total	100

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012), elaboración propia

¹ En la valoración de los tiempos se toma en cuenta recorridos en los cuales el metro es el modo principal, sin embargo, puede hacer parte de una combinación de modos.

GRUPO FOCAL

Un grupo focal es la reunión de un conjunto de personas con el objetivo de compartir opiniones, discutir y comentar, su punto de vista acerca de un tema específico. Esto permite la interacción y retroalimentación de las ideas de las personas. La intención de este grupo es que los investigadores puedan realizar el análisis de las opiniones, las respuestas a la interacción de los participantes dentro del grupo y sus reacciones al tema propuesto por el investigador.

El diseño del grupo focal se realizó a partir de la caracterización de no usuarios que viajan desde y hacia el polígono de estudio y sus resultados constituyeron valiosos datos que se emplearon posteriormente para el diseño de la encuesta, la cual, a su vez, sirvió de insumo para la modelación.

Preparación del grupo focal

Tomando como base la encuesta OD 2012, se hizo una caracterización de participantes en el grupo. La caracterización, ya descrita en los apartados 4.1.2 y 4.1.3 se hizo tomando en consideración los siguientes aspectos:

Residentes Usuario	Residentes Posibles Usuarios	No Residentes Usuario	No Residentes Posibles Usuarios
- Zona SIT - Género - Edad - Estrato - Ocupación	- Zona SIT - Género - Edad - Estrato - Ocupación	- Zona SIT - Género - Edad - Estrato - Ocupación	- Zona SIT - Género - Edad - Estrato - Ocupación

La clasificación engloba dos grandes divisiones, residentes y no residentes de la zona de influencia.

Búsqueda de personal

Equipo profesional del proyecto: Para la ejecución del estudio se cuenta con ingenieros planificadores y procesadores de información, moderador de grupo focal, camarógrafo.

El personal que participará en el grupo cumplirá con el perfil definido en el sub-apartado anterior, y se escogerá a conveniencia a partir de contactos personalizados en los lugares definidos de interés para el proyecto.

Los asistentes al grupo focal responden al perfil definido a continuación:

Tabla 6: Perfil definido para asistentes a grupo focal de no residentes

	Perfil	Ubicación
1	Hombre BM-16-30- Estudiante	Universidad Nacional
2	Hombre BM-31-45- Trabajador	Bomba de Gasolina Sena
3	Hombre BM-46-60- Trabajador	Centro de la Moda
4	Hombre BM- 16-30 - Trabajador y estudiante	Sena, San Buenaventura
5	Hombre BM-61-75- Trabajador	Centro Comercial Medellín
6	Hombre MA-46-60- Desempleado	Minorista Centro comercial Medellín
7	Hombre MA-16-30 – Estudiante	Universidad Nacional con Carro/Moto
8	Mujer BM - 16-30 Estudiante	San Buenaventura
9	Mujer BM - 16-30- Trabajadora	Centro de la moda Vendedora
10	Mujer BM - 31-45 - Ama de Casa	Sector Minorista
11	Mujer MA - 31-45 - Trabajadora	Suramericana

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de garantizar la realización del grupo se extiende invitación a diferentes personas que cumplan con los perfiles preestablecidos. A continuación, se presenta el listado de las personas que atendieron la invitación y participaron en el grupo focal.

- Mateo Saldarriaga
- Cesar Chavarria
- Santiago Diez
- Santiago Sánchez
- Alejandro García
- Deisy García
- Gloria Espinal
- Camila Avellaneda
- Alejandra Marín
- Silvia Marín
- Dora Balbin
- Adriana Valencia

Pautas para la Realización del grupo

El grupo focal se desarrolla con un guion de preguntas relacionadas con el uso del metro y la nueva línea que se podría establecer, también se indagaron tópicos asociados con las formas de movilidad utilizadas por los participantes y sus costos en tiempo y dinero. De otro lado se indagó con respecto a las percepciones de seguridad cuando se frecuenta la zona de estudio. La reunión es moderada por un profesional del área social. Se efectúa registro fotográfico y fílmico del desarrollo de la conversación.

ENCUESTA DE PREFERENCIAS REVELADAS Y DECLARADAS

Las encuestas constaron de dos partes. La primera, una encuesta de preferencia revelada (PR), donde la persona se le interrogó sobre su viaje actual hacia o desde la zona de influencia del proyecto, y allí mismo se recogen todas sus características socioeconómicas. La segunda parte constó de una encuesta de preferencias declaradas (PD) donde se le planteó el caso hipotético de existencia de la nueva línea de metro y varias alternativas de modos, con distintos valores de las variables elegidas en el diseño, a los cuales los individuos responderán eligiendo una alternativa.

Encuestas de preferencias reveladas (PR) y declaradas (PD)

En la sección de preferencias reveladas (PR) se buscó conocer sobre los viajes habituales de los encuestados, su dirección de origen, de vivienda y de destino y características socioeconómicas tales como: género, edad, ocupación, nivel educativo. Adicionalmente se le preguntó al encuestado que modos tenía disponibles y cual o cuales, en caso de emplear más de uno, eran sus modos de transporte habituales y su itinerario de viaje. A continuación, se presenta la interfaz empelada en las encuestas de preferencias reveladas:

Figura 11: Interfaz empelada en las encuestas de preferencias reveladas

Fuente: Interfaz creada para la encuesta por la Universidad Nacional

A continuación, se muestra los datos obtenidos con la encuesta de preferencias reveladas (PR).

Caracterización Socioeconómica

La Tabla 7 presenta las preguntas relacionadas con la caracterización socioeconómica de los encuestados y las opciones disponibles en cada una de ellas.

Tabla 7. Preguntas para la caracterización socioeconómica de los encuestados

Sexo	Edad (años)	Ocupación	Nivel educativo en curso o terminado*		Modos de transporte disponibles	Nivel de ingresos
			Nivel	Estado		
Femenino	< 20	Estudia	Ninguno	Ninguno	Auto	Menor a \$300.000
Masculino	Entre 20 y 24	Trabaja	Primaria	Terminado	Bicicleta	Entre \$300.000 y \$600.000
	Entre 25 y 29	Trabaja y Estudia	Bachillerato	No Terminado	Moto	Entre \$600.000 y \$1'200.000
	Entre 30 y 39	Ama de casa	Técnico / Tecnológico	En Desarrollo	Bus	Entre \$1'200.000 y \$2'400.000
	Entre 40 y 49	Desempleado	Pregrado		Taxi	Entre \$2'400.000 y \$5'000.000
	Entre 50 y 59	Otro	Posgrado		Metro	Mayor a \$5'000.000
	> 60				Metroplús	
					Caminata	

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización del viaje principal

A continuación, se presenta la Tabla 8, en la cual se muestra de que manera fue caracterizado el viaje típico de los encuestados, las opciones que se le ofrecieron.

Tabla 8: Preguntas para la caracterización del viaje principal

Modo de Viaje Elegido	Transbordo	Motivo	Frecuencia
Auto	Ninguno	Trabajo	Diario
Bicicleta	Auto	Estudio	Interdiario
Moto	Bicicleta	Compras	Semanal
Bus	Moto	Diligencias	Quincenal
Taxi	Bus	Otro	Ocasional
Metro	Taxi		
Metroplús	Metro		
Caminata	Metroplús		
	Caminata		

Fuente: Elaboración propia.

- **Dirección de vivienda:** barrio o el cruce de calle y carrera más cercano a su hogar.
- **Dirección de Origen:** barrio o el cruce de calle y carrera más cercano a su origen.
- **Dirección de Destino:** barrio o el cruce de calle y carrera más cercano a su Destino.
- **Motivo de Viaje:** se debe seleccionar una de las siguientes alternativas, “Trabajo”, “Estudio” u “Otro”.

- **Frecuencia del viaje:** El encuestado debe responder la periodicidad con la cual realiza el viaje principal por el que se le está preguntando, las alternativas son “Diario (5 o más veces por semana)”, “Interdiario (Entre 3 o 4 veces por semana)”, “Semanal (1 o 2 veces por semana)”, “Quincenal” u “Ocasional”.
- **Costo del viaje:** Aquí se debe especificar el valor estimado de viaje.
- **Tiempo Total de viaje:** especificar el tiempo total de viaje.
- **Hora de salida de vivienda:** especificar la hora de salida.
- **Hora de llegada al paradero:** especificar la hora de llegada al paradero.
- **Hora en que se sube al modo:** especificar la hora en que sube al modo.
- **Hora que sale del modo:** especificar la hora que sale del modo.
- **Hora de llegada al destino:** especificar la hora de llegada al destino.

Ubicación de lugares de encuesta

Se planteó que los individuos a encuestar eran personas con origen o destino en la zona de influencia directa del proyecto la cual es definida en el 11 3.2. Se entrevistó tanto a residentes como a no residentes. A continuación, se muestra las entidades, barrios e instituciones de las que se tomó la muestra para este estudio:

Tabla 9: Relación entidades a encuestar

ID	Entidad
1	Sena
2	Universidad San Buenaventura
3	Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
4	Biblioteca Pública Piloto
5	Barrio Carlos E Restrepo
6	Plaza Minorista
7	Colanta
8	Planta Caribe - Argos
9	Coca-Cola
10	Fiscalía
11	Secretaría de Movilidad
12	Conquistadores
13	Camacol, Suramericana y Protección
14	Barrio Suramericana

Fuente: Elaboración propia

Variables explicativas y niveles de variación

En primer lugar, se define el conjunto de elección que será tenido en cuenta en el estudio. Este está conformado por los modos actuales en los cuales el encuestado realiza su viaje principal, los cuales, y se confrontarán con la alternativa futura, que para este estudio en específico se definió como una nueva línea de Metro denominada Línea F. En la Tabla 100 se presentan los modos de transporte que conforman el conjunto de elección, los cuales se agrupan en: alternativa actual y alternativa futura.

Tabla 10. Conjunto de elección

<i>Alternativa actual</i>	<i>Alternativa futura</i>
Auto	
Bicicleta	
Bus	
Caminata	Metro + Caminar
Metroplús	
Moto	
Taxi	

Fuente: Elaboración propia

Luego de establecido el conjunto de elección se procede con la selección de los atributos para cada alternativa y que serán incluidos en la encuesta como variables explicativas. Para este estudio y a partir de las respuestas de los asistentes al grupo focal se definen como variables explicativas las siguientes:

- **Tiempo de viaje (Tv):** Tiempo gastado una vez se encuentra a bordo del modo
- **Tiempo de acceso: (Ta):** Tiempo gastado desde el origen hasta el paradero, parqueadero o estación del modo.
- **Tiempo de espera (Te):** Tiempo esperando el modo, ya sea en paradero parqueadero o estación (en la fila, en la plataforma y/o paradero).
- **Costo del viaje (C):** Valor pagado para efectuar el viaje.
- También se establece la variable latente seguridad (Seg).

Se establecen tres niveles de variación: bajo, medio y alto.

Lo anterior con base en lo reportado en la literatura donde se indica que experimentos con más de cuatro niveles de variación pueden conducir a respuestas al azar o considerando sólo algunos de los atributos establecidos.

Se procede con el diseño del plan experimental siguiendo la metodología propuesta por Kocur et al (Kocur, Adler, Hyman, & Aunet, 1982). De acuerdo con el número de variables y sus niveles de variación se elige el plan master 3 con nueve casos.

Tabla 11. Plan experimental código 3 de Kocur et al. (1982)

<i>Alternativa</i>			
<i>Tv</i>	<i>C</i>	<i>Te</i>	<i>Ta</i>
1	2	7	8
0	0	0	0
0	1	1	0
0	2	0	1
1	0	1	1
1	1	1	0
1	2	0	0
2	0	0	0
2	1	0	1
2	2	1	0

Fuente : (Kocur, Adler, Hyman, & Aunet, 1982)

Durante la ejecución de la encuesta el individuo elige entre su alternativa actual y la alternativa futura, es decir el modo que utilizó en el viaje principal que se está encuestando y la nueva línea de metro. Se presentan fotografías con el modo actual versus la nueva línea de metro.

Encuesta piloto

Una vez diseñado el instrumento para la recopilación de la información primaria se procede con la ejecución de una prueba piloto con la que se pretendió entre otras cosas, identificar posibles fallos en el software además de verificación de consistencia y claridad en las preguntas y escenarios planteados.

Durante la prueba piloto se aplicaron 120 encuestas distribuidas en los siguientes sitios: Universidad Nacional de Colombia, Plaza Minorista, Sena, barrio Carlos E Restrepo, Universidad San Buenaventura y Secretaría de Movilidad.

Una vez efectuados los ajustes y verificaciones del caso se proceden con la aplicación de la encuesta definitiva.

5. MODELACIÓN DE LA DEMANDA CON DATOS DE LAS ENCUESTAS DE PREFERENCIAS REVELADAS Y DECLARADAS

RESULTADOS ENCUESTAS

Para la encuesta definitiva se tomó una muestra representativa de los barrios e instituciones del área de estudio, el número total de instituciones fue de 14. Se intentó tomar al menos 100 personas por punto, sin embargo, en algunos casos hubo inconvenientes con la gestión de permisos para realizar las encuestas, por tal razón se aumentó el número de encuestas en algunos otros. A cada persona se le presentaron varios casos, obteniendo así 9 respuestas por individuo, la muestra constó de mínimo 1800 encuestas de las cuales 1740 resultaron válidas. Estas personas fueron interrogadas en su lugar de trabajo, de estudio o en su residencia. A continuación, se muestra las entidades, barrios e instituciones de las que se tomó la muestra para este estudio:

Tabla 12: Número de encuestas por entidad

No	Entidad	Cantidad de encuestas realizadas
1	Sena	191
2	Universidad San Buenaventura	191
3	Universidad Nacional	185
4	Biblioteca Piloto	26
5	Carlos E	187
6	Minorista	188
7	Colanta	128
8	Argos	1
9	Coca-Cola	77
10	Fiscalía	140
11	Secretaría De Movilidad	91
12	Conquistadores	80
14	Camacol Suramericana y Protección	255
Total		1740

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta del estudio

Una vez finalizada la encuesta, se extrajo las características y algunas estadísticas generales de la población encuestada. A continuación, se presenta la distribución de género, lugar de origen, modo principal empleado y ocupación.

Género

Del total de 1740 encuestas efectivas realizadas por la universidad en la zona del proyecto se obtuvo que el 39% de los individuos encuestados fueron mujeres y el 61% hombres.

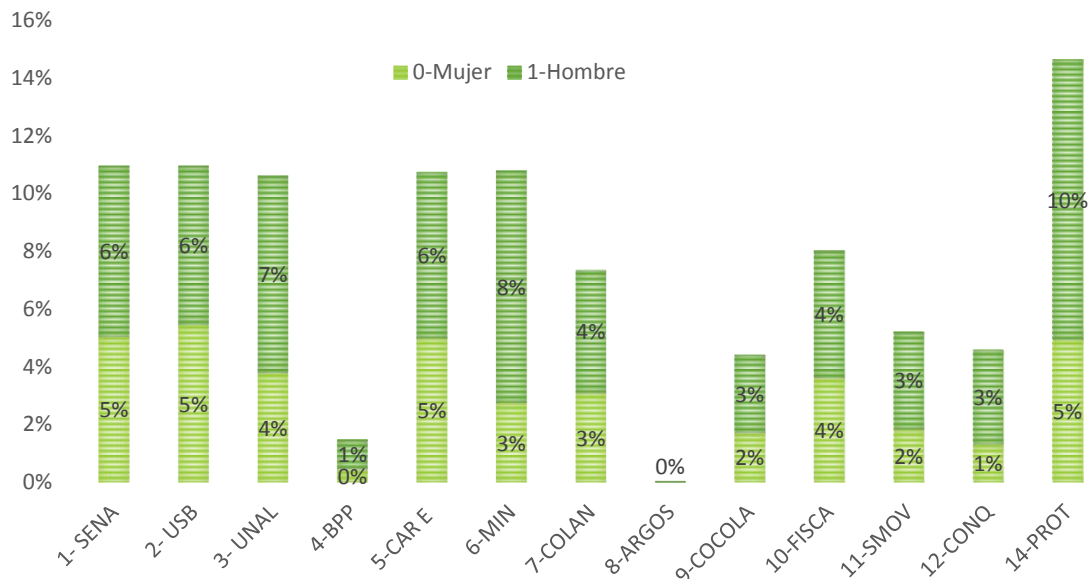


Figura 12: Distribución de los viajes por sexo/ encuesta del estudio

Fuente: Elaboración propia

Rango de edad

De los individuos encuestados en la zona de estudio, el que viajan a la zona de estudio, centro en auto, 13% son menores de 20 años, 42% están entre los 20 y los 29 años, un 20% son personas de 30–39 años, el 13% son personas de 40–49 años, mientras 7% corresponden a la población entre 50 y 59 años y el 4% son mayores de 60. La siguiente figura muestra la distribución de edades de los individuos de la encuesta.

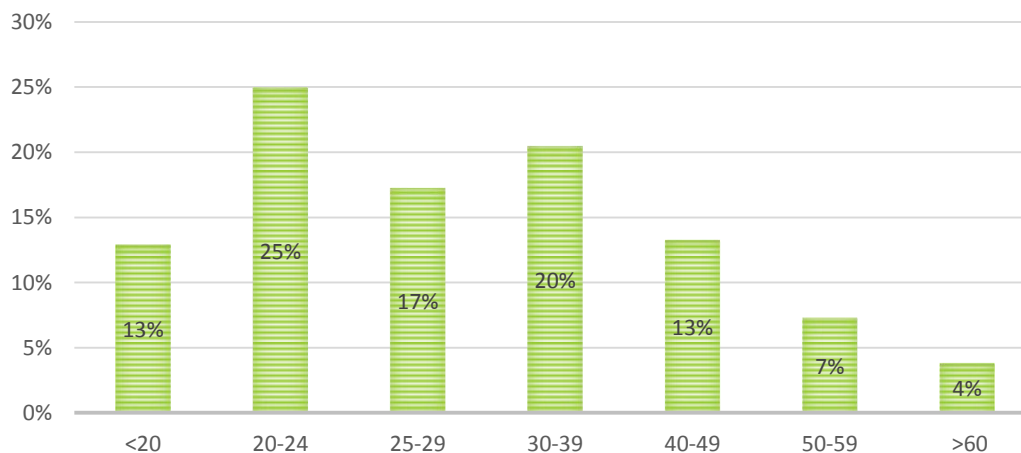


Figura 13: Distribución de los viajes por edad/ Encuesta del estudio

Fuente: Elaboración propia, encuesta del estudio.

Ocupación

En cuanto a la ocupación de los individuos encuestados en la zona del proyecto, el 52.6% correspondió a trabajadores, el 18.9% estudiantes, 11.3% jubilados, 6.6% Amas de casa, 5.9% trabajador y estudiante y 4.5% otro, entre los que destacan económicamente inactivo y desempleado. La Figura 14 muestra la distribución de los individuos por ocupación para la zona de estudio, discriminado también por estrato socio económico.

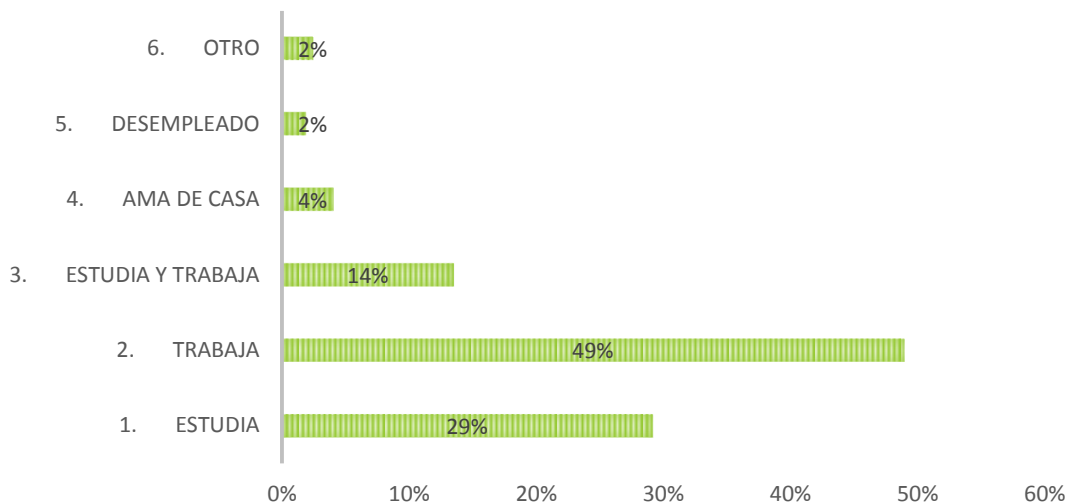


Figura 15: Distribución de los viajes por ocupación del individuo

Fuente: Elaboración propia, encuesta del estudio.

Origen de viaje

De los datos recopilados en la encuesta también se obtuvo el origen de los viajes realizados a la zona de estudio, estos muestran que el 81% de los viajes realizados hacia la zona de estudio corresponden a viajes originados en Medellín, seguido de Bello a quien corresponde el 10% de los mismos y el restante 9% se distribuye en los municipios de Copacabana, Envigado, Itagüí y Sabaneta.

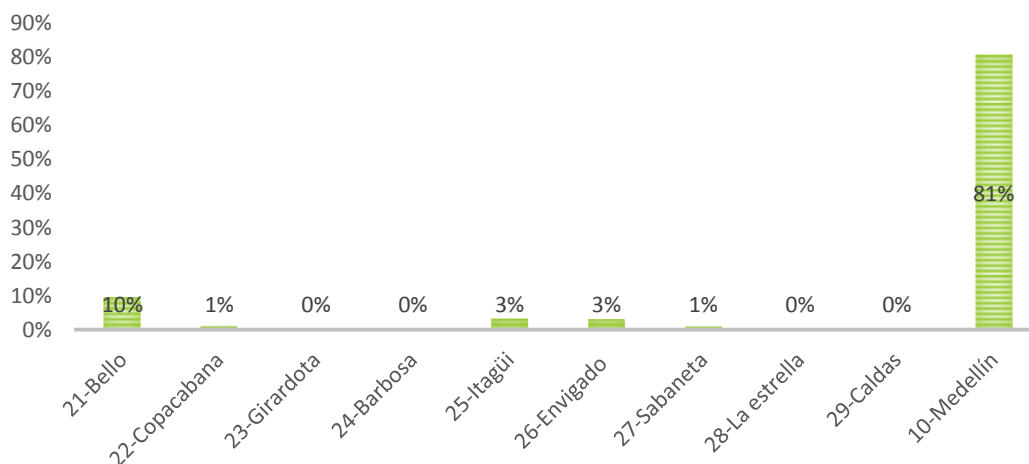


Figura 16: Distribución de los viajes por origen

Fuente: Elaboración propia, encuesta del estudio.

Los viajes realizados desde la ciudad de Medellín hasta la zona del proyecto se presentan más detalladamente en la figura

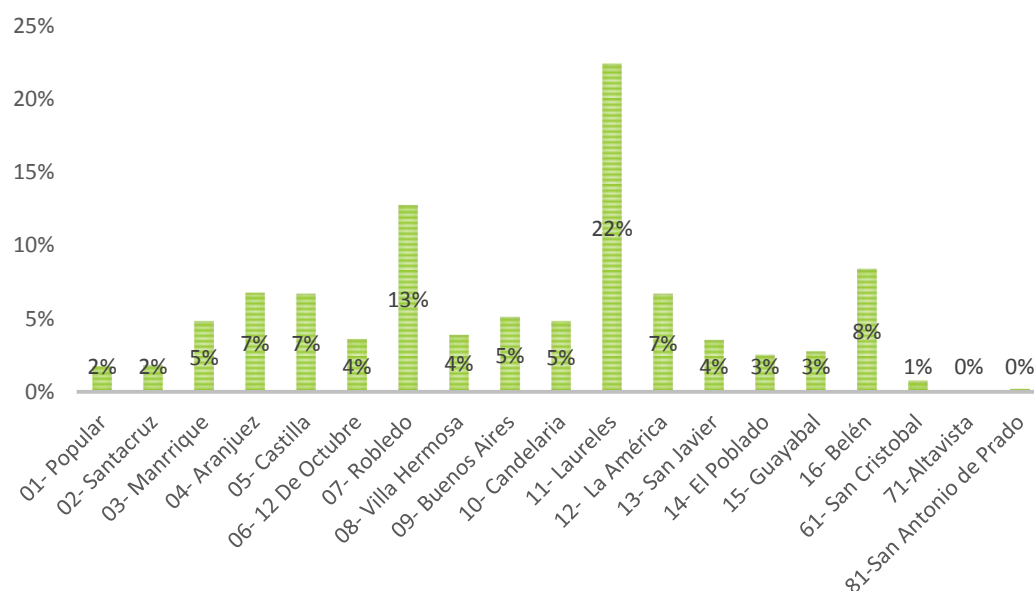


Figura 17: Distribución de los viajes provenientes de medellín a la zona del proyecto por comuna de origen

Fuente: Elaboración propia, encuesta del estudio.

ESTIMACION DE LA DEMANDA POTENCIAL PARA LA LINEA F DESDE OTROS MODOS

Formulación de los modelos de elección discreta

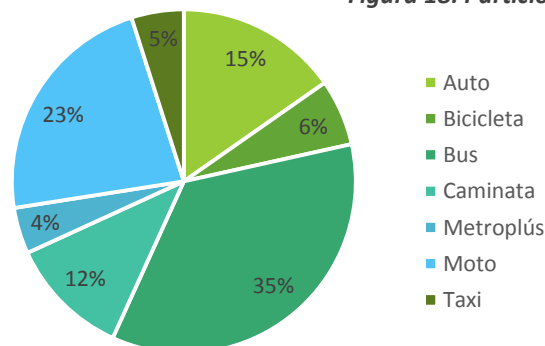
Este capítulo presenta los modelos de elección discreta estimados y calibrados con base a los atributos de los modos definidos en la encuesta de PD, se estimaron modelos logit multinomial, logit multinomial con variaciones sistemáticas en los gustos y en el caso específico del modo bus un modelo logit mixto dado el tamaño muestral que permitía estimar sus parámetros, luego se procedió a realizar el ranking de modelos teniendo en cuenta las medidas de significancia estadística.

En la estimación de los modelos y desde el diseño experimental se definió comparar el modo actual con la alternativa metro únicamente, procedimiento enmarcado en la tercera familia de modelos de elección donde la regla de decisión es aleatoria y la utilidad también es aleatoria (Córdoba, 2010); todo el proceso se realizó en dos fases, en la primera se empleó la teoría de *Racionalidad Limitada* donde la elección es un proceso probabilístico de eliminación sucesiva de alternativas (Tversky, 1972), con una regla de decisión aleatoria y una utilidad determinística (segunda familia de modelo) que permite generar un conjunto exhaustivo de dos alternativas, al cual el encuestado le aplica *Racionalidad Perfecta*, con maximización de utilidades como regla de decisión y una utilidad aleatoria (primera familia de modelos, MacFadden, 1984), (Córdoba, 2010).

Una vez obtenidos los parámetros del modelo se calcularon las probabilidades de elección de cada modo mediante enumeración muestral, procedimiento mediante el cual se asignaron los valores de costo de viaje, tiempo de viaje obtenidos en la encuesta PR con una distribución asociada, en este caso una distribución de parámetros poblacionales normal, con esta aplicación predictiva del modelo fue posible calcular la nueva partición modal que tiene en cuenta el potencial de usuarios de la nueva línea F desde los distintos modos evaluados.

Una vez verificada la encuesta piloto se procedieron a realizar mejoras en la presentación de las preguntas para mejorar el instrumento de medición, luego se procedió a realizar la encuesta definitiva a 1800 individuos, luego de depurar la base de datos y suprimir aquellas encuestas que presentaban errores en su diligenciamiento o que estaban incompletas, se realizó el análisis previo a la especificación y estimación de modelos de elección discreta aplicados a la etapa de partición modal. La distribución de las encuestas en función de los modos en estudio, se presenta en la Figura 18

Figura 18: Partición modal de la encuesta



Fuente: elaboración propia

Del análisis de la información de preferencia revelada por los encuestados se obtiene el tiempo de viaje promedio, el costo de viaje y sus desviaciones, datos de relevancia para la aplicación predictiva del modelo, en la Tabla 13 se presentan los resultados para los modos evaluados.

Tabla 13: Análisis estadístico del tiempo y costo de viaje para los distintos modos

<i>Id</i>	<i>Modo</i>	<i>Tv promedio (min)</i>	<i>Desviación Estándar Tv (min)</i>	<i>Costo de viaje promedio (COP)</i>	<i>Desviación Estándar Costo (COP)</i>
1	Auto	25,2	11,7	4640	2573
2	Bicicleta	18,9	10,2	63	336
3	Bus	35,4	14,1	2533	1498
4	Caminata	14,1	9,3	18	158
6	Metroplús	31,4	12,3	2852	1641
7	Moto	18,4	7,3	1206	685
8	Taxi	19,4	8,4	8148	3635

Fuente: elaboración propia

Se procedió a separar los encuestados por modo para preparar la muestra a usar en la estimación de parámetros del modelo, así mismo, se dejaron por fuera de la estimación un porcentaje aproximado del 10% con los cuales se realizó la comprobación del modelo con fin de estimar el ajuste de éste y su capacidad de predecir la elección de modo. La Tabla 14 presenta los tamaños muestrales empleados y sus correspondientes muestras de comprobación.

Tabla 14: Tamaño muestral, del modelo y de comprobación

<i>Id</i>	<i>Modo</i>	<i>Muestra total</i>	<i>Muestra modelo</i>	<i>Muestra de comprobación</i>
1	Auto	267	239	28
2	Bicicleta	109	94	15
3	Bus	616	554	62
4	Caminata	199	180	19
6	Metroplús	76	69	7
7	Moto	394	354	40
8	Taxi	86	76	10
	TOTAL	1747	1566	181

Fuente: Elaboración propia.

Una vez preparada la información anterior se procedió a probar distintas especificaciones de modelos variando entre estas la forma de la función de utilidad y las variables a incluir o no, se hace en numeral siguiente un resumen sucinto de la teoría empleada y la metodología para la estimación de los parámetros del modelo.

Teoría de la utilidad aleatoria

Se explican los fundamentos de la modelación de elecciones a partir de Ortúzar y Willumsen (2001), comenzando con la teoría de la utilidad aleatoria la cual se basa en los siguientes postulados:

- Los individuos son racionales y siempre elegirán la combinación de alternativas que maximiza su utilidad
- Pertenecen todos a una misma población homogénea Q y están sujetos a restricciones ambientales.

El fundamento matemático parte de la existencia de un conjunto universal de alternativas disponibles ($\underline{A}$), el conjunto de elección de un individuo q , $A(q)$ está determinado por aquellas que éste tiene disponibles; a su vez, este es un subconjunto del conjunto universal $\underline{A}(q) \in \underline{A}$ y un conjunto $\underline{X}$ de vectores de características de los individuos y atributos medibles para cada individuo. Por lo tanto, un individuo q tiene un conjunto de atributos $x \in \underline{X}$ y un conjunto de alternativas disponibles $\underline{A}(q) \in \underline{A}$.

Asumiendo el conjunto de alternativas como predeterminado, lo cual implica que las restricciones ya han sido tenidas en cuenta por el individuo, la elección de la alternativa más conveniente no será afectada por dichas restricciones.

Cada alternativa de $A_i \in \underline{A}$ tiene asociada una utilidad U_{iq} para el individuo q .

Así pues, se define una función de utilidad que presenta dos componentes: una parte observable, determinada por el vector de características o atributos medibles de la alternativa y el vector de características socioeconómicas del individuo; y una componente no observable, definida para incorporar las distintas fuentes de aleatoriedad.

El modelador asume que la utilidad U_{iq} de la opción A_j para el individuo q tiene la forma:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (5-1)$$

La expresión **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 5-1, se denomina *Utilidad determinística*, donde:

V_{iq} : una parte medible función de los atributos medidos de x ,
 ε_{jq} : un elemento aleatorio que refleja gustos particulares relacionados con la elección además de posibles errores por parte del investigador en la medición u observación.

La utilidad sistemática se especifica normalmente como:

$$V_{jq} = \sum_k \theta_{jk} X_{jkq} \quad (5-2)$$

Según se asuma función de distribución asociada a los *términos* de error de la ec (5-1) se obtienen distintos modelos de los cuales uno de los más empleados es el Logit multinomial.

Modelo logit multinomial (MNL)

El modelo logit multinomial resulta de suponer que los términos de error en (5-1) siguen una distribución IID (independiente e idénticamente distribuidos) Gumbel, con media cero y varianza σ^2 . Esto quiere decir que no hay correlación entre los términos y poseen la misma varianza a nivel de alternativas como de individuos. Así, la probabilidad de que un individuo n escoja la alternativa i , está dada por (Domencich & McFadden, 1975):

$$P_{in} = \frac{e^{(\mu^* V_{in})}}{\sum_{A_j \in A_n} e^{(\mu^* V_{jn})}} \quad (5-3)$$

Donde μ es un factor de escala relacionado con la varianza del término de error, así $\mu = \frac{\pi^2}{6\sigma^2}$,
dado que el factor μ no es identificable éste se asume $\mu=1$ lo cual implica $\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6}$ (Ortúzar & Willumsen, 2001).

Modelo logit mixto (ML)

Los modelos logit mixto (ML) pueden aproximar cualquier modelo de utilidad aleatoria y resuelven algunas limitantes del MNL, entre estas limitantes están:

- La variación aleatoria en los gustos
- La correlación arbitraria entre distintas alternativas
- La correlación entre los errores en el tiempo

La expresión general para este modelo se presenta en ec (5-4):

$$P_{iq} = \int L_{iq}(\theta) f(\theta) d(\theta) \quad (5-4)$$

Dónde:

- $L_{iq}(\theta)$: probabilidad del MNL evaluado en un conjunto de parámetros θ y su función de densidad.
- $d(\theta)$: diferencial del conjunto de parámetros θ .
- $f(\theta)$: distribución mezclada con las siguientes propiedades. Si $f(\theta)$ es generado para parámetros fijos b (es decir, que es igual a uno para $\theta = b$ y cero para $\theta \neq b$), la probabilidad de elección se convierte en un MNL.

Tipos de variables

Las variables empleadas en la estimación de los parámetros del modelo se listan en Tabla 155, las variables aquí empleadas corresponden a las variables explicativas producto del diseño experimental y las variables socioeconómicas de tipo cualitativo o cualitativo que son susceptibles de ser incluidas al modelo.

Tabla 15: Tipos de variables empleadas

Variable	Tipo	Id
Tiempo de Viaje	Explicativa	[tv]
Tiempo de acceso	Explicativa	[ta]
Tiempo de espera	Explicativa	[te]
Costo de viaje	Explicativa	[Cost]
Género (0: femenino. 1: masculino) ³	Cualitativa	[sex]
Edad (1: Menor de 20 años. 2: 20-24 años. 3: 25-29 años. 4: 30-39 años. 5: 40-49 años. 6: 50-59 años. 7: Mayor de 60 años) ²	Cuantitativa	[edad]

² Las variables de carácter socioeconómico se incluyen al modelo como variables dummy es decir se asignan de forma discreta asignando valores de 0 y 1 en caso que se cumpla la condición por parte del individuo.

Variable	Tipo	Id
Ingreso (1: Menor a \$650.000. 2: \$650.001 – \$1.300.000. 3: \$1.300.001 – \$2.500.000. 4: \$2.500.001 - \$5.000.000. 5: Más de \$5.000.000) ³	Cuantitativa	[ing]
Motivo de Viaje (1: Trabajo, 2: Estudio, 3: Compras, 4: diligencias, 5: Otros) ³	Cualitativa	[mot]

Fuente: Elaboración propia.

Formulación de modelos de elección discreta

Formulación del Modelo Logit Multinomial (MNL)

Como modelo base se plantea un modelo logit multinomial a estimar para cada modo frente a la posibilidad de usar el metro considerando los modos Auto, Bicicleta, Bus, Caminata, Metroplús, Moto y Taxi; modos expresados según sea el caso como modo i en la expresión (5-1), la función de utilidad propuesta es lineal y tiene la forma:

$$U_{modoi} = ASC_{modo} + \beta_{cost} * Ca + \beta_{Tv} * Tva + \beta_{ta} * Taa + \beta_{te} Tea + \beta_x * X_i \quad (5-1)$$

$$U_{metro} = ASC_{metro} + \beta_{cost} * Cf + \beta_{Tv} * Tvf + \beta_{ta} * Taf + \beta_{te} Tef + \beta_x * X_j \quad (5-2)$$

Dónde:

U_{modo} y U_{metro} :	Función de utilidad sistemática del modo evaluado y la del metro
Ca y Cf :	Costo de viaje en el actual y el costo de viaje en la alternativa metro
Tva y Tvf :	Tiempo de viaje en el modo actual y el tiempo de viaje en el metro
Tea y Tef :	Tiempo de espera del modo actual y el tiempo de espera para la alternativa metro
X_i :	Variables de carácter socioeconómico a incluir en el modelo
X_j :	Variables de carácter socioeconómico a incluir en el modelo
ASC_{modo} y ASC_{metro} :	Constante modal de la alternativa en estudio y el metro respectivamente
$\beta_{cost}, \beta_{Tv}, \beta_{ta}, \beta_{te}, \beta_x$:	Parámetros del modelo a estimar mediante máxima verosimilitud.

Basados en la teoría de la maximización de la utilidad es un concepto que representa la “utilidad” por viajar en una determinada alternativa siempre comparada con las demás. Se asume por simplificación que dicha función es lineal, es decir que es la suma de lo que para cada individuo pesa cada una de las etapas de su viaje (caminar, ir dentro del vehículo, transbordar, otras variables como las percepciones y actitudes del usuario, etc.).

Formulación del modelo logit multinomial con variaciones sistemáticas en los gustos

Este modelo usa las mismas variables listadas en la Tabla 1515 y presenta como variación una función de utilidad que no es lineal ya que incluye dentro del costo o tiempo de viaje el efecto que una variable de carácter socioeconómico, así las cosas, la ecuación para este modelo puede ser de la forma:

$$U_{modoi} = ASC_{modo} + (\beta_{cost} + \beta_x * X_i) * Ca + \beta_{Tv} * Tva + \beta_{ta} * Taa + \beta_{te} Tea + \beta_x * X_i \quad (5-6)$$

$$U_{metro} = ASC_{metro} + \beta_{cost} * Cf + \beta_{Tv} * Tvf + \beta_{ta} * Taf + \beta_{te} Tef + \beta_x * X_j \quad (5-7)$$

Dónde:

U_{modo} y U_{metro} :	Función de utilidad sistemática del modo evaluado y la del metro
Ca y Cf :	Costo de viaje en el actual y el costo de viaje en la alternativa metro
Tva y Tvf :	Tiempo de viaje en el modo actual y el tiempo de viaje en el metro
Tea y Tef :	Tiempo de espera del modo actual y el tiempo de espera para la alternativa metro
X_i :	Variables de carácter socioeconómico a incluir en el modelo
X_j :	Variables de carácter socioeconómico a incluir en el modelo
ASC_{modo} y ASC_{metro} :	Constante modal de la alternativa en estudio y el metro respectivamente
$\beta_{cost}, \beta_{Tv}, \beta_{ta}, \beta_{te}, \beta_x$:	Parámetros del modelo a estimar mediante máxima verosimilitud.

Formulación del modelo logit mixto (ML)

Este modelo usa las mismas variables listadas en la Tabla 1515 y presenta como variación una función de utilidad que incluye una variación aleatoria para del tiempo de viaje así las cosas la ecuación para este modelo puede ser de la forma:

$$U_{modoi} = ASC_{modo} + \beta_{cost} * Ca + \beta_{Tv_s} * Tva + \beta_{ta} * Taa + \beta_{te} Tea + \beta_x * X_i \quad (5-8)$$

$$U_{metro} = ASC_{metro} + \beta_{cost} * Cf + \beta_{Tv_s} * Tvf + \beta_{ta} * Taf + \beta_{te} Tef + \beta_x * X_j \quad (5-9)$$

Dónde:

U_{modo} y U_{metro} :	Función de utilidad sistemática del modo evaluado y la del metro
Ca y Cf :	Costo de viaje en el actual y el costo de viaje en la alternativa metro
Tva y Tvf :	Tiempo de viaje en el modo actual y el tiempo de viaje en el metro
Tea y Tef :	Tiempo de espera del modo actual y el tiempo de espera para la alternativa metro
X_i :	Variables de carácter socioeconómico a incluir en el modelo
X_j :	Variables de carácter socioeconómico a incluir en el modelo
ASC_{modo} y ASC_{metro} :	Constante modal de la alternativa en estudio y el metro respectivamente
$\beta_{cost}, \beta_{Tv}, \beta_{ta}, \beta_{te}, \beta_x$:	Parámetros del modelo a estimar mediante máxima verosimilitud.

Se incluye pues en esta especificación una variación normal de la percepción del tiempo de viaje entre los individuos, de manera que se pueda estimar de manera más precisa la forma en que afecta un cambio continuo en esta variable.

Estimación de los modelos

Estimación de los modelos MNL

Una vez formulados los modelos, se procedió a realizar la estimación de parámetros mediante el uso del software Python BIOGEME versión 2.4 (Bierlaire, 2009)

La estimación de los parámetros se realizó configurando distintas especificaciones incluyendo o eliminando variables al modelo, se presenta a continuación los resultados de las mejores

especificaciones con las cuales se procede luego a realizar el ranking de modelos. Cabe anotar que los resultados presentados en las tablas corresponden a las mejores especificaciones obtenidas, con las cuales, se estimó la capacidad de predecir la elección utilizando la muestra de verificación obteniéndose una comprobación previa a la realización del ranking el cual se basa en las medidas de significancia estadística.

Modelos para el modo Auto

Para el modo auto fueron estimados MNL y MNL con variaciones sistemáticas, los resultados se presentan en la

Tabla 1616:

Tabla 16: Resultados del modelo MNL y MNL variaciones sistemáticas para el modo Auto

#	Nombre de la Variable	Variable	MNL		MNL variaciones sistemáticas	
			Coefficient	(t-test)	Coefficient	(t-test)
1	Constante modal auto	ASC_moda	1,26	2,08	1,380	2,26
2	Constante modal metro	ASC_metro	0,00	-	0,000	-
3	Beta costo	B_Cost	-0,22	-2,28	-0,335	-3,54
4	Beta tiempo de acceso	B_Ta	-0,01	-0,69	-0,014	-0,73
5	Beta tiempo de espera	B_Te	-0,01	-0,6	-0,007	-0,64
6	Beta tiempo de viaje	B_Tv	-0,03	-2,32	-0,030	-2,12
7	Beta edad 2 (20-24 años)	B_edad2	1,02	4,19	-1,010	-4,14
8	Beta edad 3 (25-29 años)	B_edad3	0,60	2,84	-0,593	-2,82
9	Beta edad 4 (30-39 años)	B_edad4	0,28	2,93	-0,284	-2,97
10	Beta nivel de ingreso (hasta \$600mil)	B_ing1	-1,22	-7,26	1,230	7,32
11	Beta motivo de viaje al trabajo	B_mot1	1,13	6,97	0,352	6,82
12	Beta género	B_sex	0,09	0,58	-0,003	-0,60
Sumario estadísticas:						
# de variables			12		12	
# Variables significativas			9		10	
Número de observaciones			2151		2151	
Tamaño muestral			239		239	
Inicial log-likelihood			-1.490.960,0		-1.490.960,0	
Final log-likelihood			-626.506,0		-627.171,0	
Rho-cuadrado			0,58		0,579	
VOT (\$)			152		90	

Fuente: Elaboración propia.

Modelo para el modo Bicicleta

En este caso se estimaron modelos MNL que en ninguno de los casos y con distintas especificaciones alcanzaron la convergencia, con lo cual se concluye que el modelo no es identificable, teniendo en cuenta la alta prevalencia de elecciones automáticas, las cuales se refieren a la conexión existente en el subconsciente de las personas entre un objeto y el constructo positivo acerca de éste (Córdoba, 2014), lo cual genera una inclinación a elegirlo de manera automática.

Teniendo en cuenta la elección actual el 95% de los usuarios no migrarían a la alternativa metro, hecho que puede ser explicado por las características que tipifican el viaje en bicicleta, el cual, por su bajo costo, tiempo de recorrido y distancias a recorrer puede no entrar competir con el metro. El uso de la bicicleta se enmarca en un contexto donde las percepciones y las actitudes del usuario entran en la función de compensación que determina la elección por lo cual se concluye que a la luz del estudio realizado no es posible determinar la demanda potencial al interior de los usuarios de bicicleta.

Modelo para el modo Bus

Para el modo bus fueron estimados MNL, MNL con variaciones sistemáticas y logit mixto, los resultados se presentan en la Tabla 177.

Tabla 17: Resultados de los modelos MNL, MNL variaciones sistemáticas y ML para el modo Bus

#	Nombre de la Variable	Variable	MNL		MNL variaciones sistemáticas		ML	
			Coefficient	(t-test)	Coefficiente	(t-test)	Coefficiente	(t-test)
1	Constante modal bus	ASC_mod	0,383	4,01	0,450	4,98	0,333	3,04
2	Constante modal metro	ASC_metro	0,000	-	0,000	-	0,000	-
3	Beta costo	B_Cost	-2,590	-19,06	-2,570	-18,90	-2,770	-12,76
4	Beta tiempo de acceso	B_Ta	-0,002	-0,44	-0,002	-0,43	-0,005	-0,95
5	Beta tiempo de espera	B_Te	-0,022	-7,24	-0,022	-7,25	-0,023	-6,92
6	Beta tiempo de viaje	B_Tv	-0,076	-13,69	-0,076	-13,69	-0,080	-10,67
7	Beta variación aleatoria del tiempo de viaje	B_Tv_RND					0,074	1,97
8	Beta nivel de ingreso (hasta \$600mil)	B_ing1	-0,155	-2,05	0,133	1,77	0,163	2,08
9	beta motivo de viaje al trabajo	B_mot1	-0,170	-2,25	-0,097	-2,49	-0,175	-2,24
10	Beta género	B_sex	-0,125	-1,96	0,450	4,98	-0,127	-1,93
Sumario estadísticas:								
# de variables			9		9		10	
# Variables significativas			7		8		9	
Número de observaciones			4986		4986		4986	
Tamaño muestral			554		554		554	
Inicial log-likelihood			-3.456.032		-3.456.032		-3.456.032	
Final log-likelihood			-2.943.886		-2.945.039		-2.943.257	
Rho-cuadrado			0,148		0,148		0,148	
VOT (\$)			29		29		29	

Fuente: Elaboración propia.

Modelo para el modo Caminata

En este caso se estimaron modelos MNL que en ninguno de los casos y con distintas especificaciones alcanzaron la convergencia, con lo cual se concluye que el modelo no es identificable, teniendo en cuenta la alta prevalencia de elecciones automáticas, las cuales se refieren a la conexión existente en el subconsciente de las personas entre un objeto y el constructo positivo acerca de éste (Córdoba, 2014), lo cual genera una inclinación a elegirlo de manera automática.

Para este modo teniendo en cuenta las distancias promedio que caminan quienes lo hacen, la alternativa metro puede no ser atractiva teniendo en cuenta además un incremento en el costo, tiempos de acceso y de espera que no experimentan caminando. La elección para la encuesta realizada fue del 95% con lo cual la demanda potencial que a la zona de influencia pueda resultar de quienes caminan no puede ser estimada con el presente estudio.

Modelo para el modo Metroplús

Para el modo bus fueron estimados MNL, MNL con variaciones sistemáticas y logit mixto, los resultados se presentan en la Tabla 1818.

Tabla 18: Resultados del modelo MNL y MNL variaciones sistemáticas para el modo Metroplús

#	Nombre de la Variable	Variable	MNL		MNL variaciones sistemáticas	
			Coefficiente	(t-test)	Coefficiente	(t-test)
1	Constante modal metroplús	ASC_modo	1,400	2,22	1,380	2,26
2	Constante modal metro	ASC_metro	0,000	-	0,000	-
3	Beta costo	B_Cost	-2,470	-5,68	-2,450	-5,59
4	Beta tiempo de acceso	B_Ta	-0,005	-0,21	-0,006	-0,26
5	Beta tiempo de espera	B_Te	-0,002	-0,15	-0,005	-0,27
6	Beta tiempo de viaje	B_Tv	-0,060	-3,35	-0,066	-3,61
7	Beta nivel de ingreso (hasta \$600mil)	B_ing1	-0,394	-2,07	-0,130	-0,48
8	beta motivo de viaje al trabajo	B_mot1			-0,320	-2,47
9	Beta género	B_sex			0,013	2,37
Sumario estadísticas:						
# de variables			7		9	
# Variables significativas			4		5	
Número de observaciones			621		621	
Tamaño muestral			69		69	
Inicial log-likelihood			-430.444,00		-430.444,00	
Final log-likelihood			-332.918,00		-327.232,00	
Rho-cuadrado			0,227		0,24	
VOT (\$)			24		27	

Fuente: Elaboración propia.

Modelo para el modo Moto

En este caso se estimaron modelos MNL que en ninguno de los casos y con distintas especificaciones alcanzaron la convergencia, con lo cual se concluye que el modelo no es identificable, teniendo en cuenta la alta prevalencia de elecciones automáticas, las cuales se refieren a la conexión existente en el subconsciente de las personas entre un objeto y el constructo positivo acerca de éste (Córdoba, 2014), lo cual genera una inclinación a elegirlo de manera automática.

La elección para la encuesta realizada fue del 99% con lo cual la demanda potencial que a la zona de influencia pueda resultar de quienes usan la moto no puede ser estimada con el presente estudio, la impedancia del usuario a cambiar de modo resulta la más alta de todos aquellos que no consideran la alternativa metro como atractiva.

Modelo para el modo Taxi

Para el modo bus fueron estimados MNL, MNL con variaciones sistemáticas y logit mixto, los resultados se presentan en la Tabla 1919.

Tabla 19: Resultados del modelo MNL y MNL variaciones sistemáticas para el modo Taxi

#	Nombre de la Variable	Variable	MNL		MNL variaciones sistemáticas	
			Coefficiente	(t-test)	Coefficiente	(t-test)
1	Constante modal auto	ASC_mo	1,710	-1,96	1,730	3,09
2	Constante modal metro	ASC_metro	0,000	-	0,000	-
3	Beta costo	B_Cost	-0,138	-1,96	-0,152	-2,12
4	Beta tiempo de acceso	B_Ta	-0,004	-0,17	-0,006	-0,25
5	Beta tiempo de espera	B_Te	-0,016	-1,9	-0,017	-2,09
6	Beta tiempo de viaje	B_Tv	-0,031	-2,3	-0,036	-2,65
7	Beta edad 2 (<20 años)	B_edad1	-1,340	-3,61	-1,340	-3,61
8	Beta edad 2 (20-24 años)	B_edad2	-1,500	-4,71	-1,500	-4,74
9	Beta edad 3 (25-29 años)	B_edad3	-1,360	-4,7	-1,360	-4,72
10	Beta edad 4 (30-39 años)	B_edad4	-0,384	-3,62	-0,387	-3,66
11	Beta nivel de ingreso (hasta \$600mil)	B_ing1	-0,325	-1,61	-0,336	-1,67
12	beta motivo de viaje al trabajo	B_mot1	0,200	0,99	0,022	1,12
13	Beta género	B_sex	-1,120	-5,6	0,031	5,44

Sumario estadísticas:

# de variables	13	13
# Variables significativas	11	12
Número de observaciones	684	684
Tamaño muestral	76	76
Inicial log-likelihood	-474.113,00	-474.113,00
Final log-likelihood	-420.595,00	-421.706,00
Rho-cuadrado	0,113	0,085
VOT (\$)	226	238

Fuente: Elaboración propia.

Ranking de modelos

Con el ranking de modelos se selecciona el mejor de los estimados, buscando aquel que prediga la elección con mayor ajuste en la calibración, los criterios para adelantar dicho ranking se especifican a continuación:

Los betas asociados a las variables explicativas tiempo de viaje, tiempo de espera, tiempo de acceso y costo deben ser negativos, ya que, a manera de ejemplo a mayor tiempo de viaje, la función de utilidad del usuario debe verse disminuida. La primera comprobación de los modelos corresponde a la verificación de las hipótesis de los signos y si estos son tal cual los esperados.

Los betas de las variables son también evaluados en función del t-test, el cual indica qué variables son explicativas y cuales no deben ser incluidas por no aportar, se incluyen entonces aquellas para las cuales se cumpla que el t-test $\geq |1.96|$. Cuando el t-student es mayor a 1.96 indica que la variable es significativa al 95% o más, aunque queda al criterio del modelador incluir o no una variable con t-test ligeramente por debajo del umbral.

Se consolida a continuación los criterios para el ranking de modelos y se presenta en la Tabla 2020 los resultados obtenidos:

- Los signos esperados de las variables: Costo (-), Tiempo de viaje (-), Tiempo de espera (-) y Tiempo de acceso (-).
- Significancia de las variables t-test $\geq |1.96|$ para una significancia del 95%.
- Test estadístico ρ^2 , mientras mayor es mejor.

Tabla 20. Ranking de los modelos para usuarios del modo Auto

Ranking	Modelo	Signos hipótesis	# Variables Significativas	L(B)	ρ^2
Auto					
1	MNLvs	sí	10	-627171	0,579
2	MNL	sí	9	-626506	0,58
Bus					
1	ML	sí	9	-2943257	0,148
2	MNLvs	sí	8	-2945039	0,148
3	MNL	sí	7	-2943886	0,148
Metroplús					
1	MNLvs	sí	5	-327232	0,24
2	MNL	sí	4	-332918	0,227

Ranking	Modelo	Signos hipótesis	# Variables Significativas	L(B)	ρ^2
Taxi					
1	MNLvs	sí	12	-421.706	0,085
2	MNL	sí	11	-420.595	0,113

Fuente: Elaboración propia.

Se presentan a continuación las funciones de utilidad para los modelos en primer lugar del ranking para cada modo evaluado:

Modelo elegido para el modo Auto

La formulación del modelo es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{auto}} &= ASC_{\text{modo}} + (B_{\text{Cost}} + B_{\text{mot1}} * \text{motv1}) * \text{modo}_{\text{cost_scaled}} + B_{\text{Tv}} * \text{Tva} \\
 U_{\text{metro}} &= ASC_{\text{metro}} + B_{\text{Cost}} * \text{metro}_{\text{cost_scaled}} + B_{\text{Tv}} * \text{Tvf} + B_{\text{edad2}} * \text{edad2} \\
 &\quad + B_{\text{edad3}} * \text{edad3} + B_{\text{edad4}} * \text{edad4} + B_{\text{edad4}} * \text{edad4} \\
 &\quad + B_{\text{ing1}} * \text{ing1}
 \end{aligned}$$

La cual al reemplazar los valores de los betas hallados:

$$U_{\text{auto}} = 1.38 + (-0.335 + 0.352 * \text{motv1}) * \text{modo}_{\text{cost_scaled}} - 0.03 * \text{Tva}$$

$$\begin{aligned}
 U_{\text{metro}} &= -0.335 * \text{metro}_{\text{cost_scaled}} - 0.03 * \text{Tvf} - 1.01 * \text{edad2} - 0.593 * \\
 &\quad \text{edad3} - 0.284 * \text{edad4} + 1.2 * \text{ing1}
 \end{aligned}$$

La variable $\text{modo}_{\text{cost_scaled}}$ y $\text{metro}_{\text{cost_scaled}}$ corresponde al costo de la alternativa dividido entre 1000.

De esta modelación se puede observar que las variables influyentes en la elección de metro por los usuarios de auto, son:

- Costo de viaje
- Tiempo de viaje
- El motivo de viaje trabajo
- La edad del usuario
- Ingreso hasta el salario mínimo

Modelos para el modo Bus

La formulación del modelo es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{bus}} &= ASC_{\text{modo}} + B_{\text{Cost}} * \text{modo}_{\text{cost_scaled}} + B_{\text{TvRND}} * \text{Tva} + B_{\text{Te}} * \text{Tea} + B_{\text{mot1}} * \text{motv1} \\
 U_{\text{metro}} &= ASC_{\text{metro}} + B_{\text{Cost}} * \text{metro}_{\text{cost_scaled}} + B_{\text{TvRND}} * \text{Tvf} + B_{\text{Te}} * \text{Tef} + \\
 &\quad B_{\text{ing1}} * \text{ing1} + B_{\text{sex}} * \text{sex}
 \end{aligned}$$

La cual al reemplazar los valores de los betas hallados:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{bus}} &= 3.04 - 2.77 * \text{modo}_{\text{cost_scaled}} - 0.08 [0,074] * \text{Tva} - 0,023 * \text{Tea} \\
 &\quad - 0,175 * \text{motv1}
 \end{aligned}$$

$$U_{metro} = -2.77 ** metro_cost_scaled - 0.08 [0,074] * Tv_f - 0,023 * Tef + 0,163 * ing1 - 0,127 * sex$$

La variable B_{Tv_RND} viene representada de la forma B [Sigma B], para la cual el B corresponde a la media y Sigma B a la desviación estándar de la función de distribución del parámetro.

La variable $modo_cost_scaled$ y $metro_cost_scaled$ corresponde al costo de la alternativa dividido entre 1000.

De esta modelación se puede observar que las variables influyentes en la elección de metro por los usuarios de auto, son:

- Costo de viaje
- Tiempo de viaje
- Tiempo de espera
- El motivo de viaje trabajo
- El género del usuario
- Ingreso hasta el salario mínimo

Modelos para el modo Metroplús

La formulación del modelo es la siguiente:

$$U_{metroplús} = ASC_{modo} + (B_{Cost} + B_{mot1} * motv1) * modo_cost_scaled + B_{Tv} * Tva$$

$$U_{metro} = ASC_{metro} + B_{Cost} * metro_cost_scaled + (B_{Tv} + B_{sex} * sex) * Tv_f + B_{ing1} * ing1$$

La cual al reemplazar los valores de los betas hallados:

$$U_{metroplús} = 1.38 + (-2.45 - 0.32 * motv1) * modo_cost_scaled - 0.066 * Tva$$

$$U_{metro} = -2.45 * metro_cost_scaled + (-0.066 + 0 - 0.13 * sex) * Tv_f - 0.13 * ing1$$

La variable $modo_cost_scaled$ y $metro_cost_scaled$ corresponde al costo de la alternativa dividido entre 1000.

De esta modelación se puede observar que las variables influyentes en la elección de metro por los usuarios de auto, son:

- Costo de viaje
- Tiempo de viaje
- El motivo de viaje trabajo
- El género del usuario
- Ingreso hasta el salario mínimo

Modelos para el modo Taxi

La formulación del modelo es la siguiente:

$$U_{taxi} = ASC_{modo} + B_{Cost} * modo_cost_scaled + B_{Tv} * Tva + B_{Te} * Tea + B_{edad1} * edad1 + B_{edad2} * edad2 + B_{edad3} * edad3 + B_{edad4} * edad4 + B_{edad4} * edad4 + B_{ing1} * ing1$$

$$U_{metro} = ASC_{metro} + B_{Cost} * metro_cost_scaled + (B_{Tv} + B_{sex} * sex) * Tvf + B_{Te} * Tef$$

La cual al reemplazar los valores de los betas hallados:

$$U_{taxi} = 1.73 - 0.152 * modo_cost_scaled - 0.036 * Tva - 0.017 * Tea - 1.34 * edad1 - 1.50 * edad2 - 1.36 * edad3 - 0.387 * edad4 - 0.336 * ing1$$

$$U_{metro} = -0.152 * metro_cost_scaled + (-0.036 + 0.031 * sex) * Tvf - 0.017 * Tef$$

La variable *modo_cost_scaled* y *metro_cost_scaled* corresponde al costo de la alternativa dividido entre 1000.

De esta modelación se puede observar que las variables influyentes en la elección de metro por los usuarios de auto, son:

- Costo de viaje
- Tiempo de viaje
- Tiempo de espera
- El género del usuario
- El rango de edad del usuario
- Ingreso hasta el salario mínimo

Probabilidades de elección de los modos

Una vez elegidos los modelos se calculó la probabilidad de elección de los modos con la cual se estima la demanda potencial conocido el número de viajes a la zona de influencia de la línea F en cada uno de los modos evaluados.

Aplicación del modelo

Para calcular las probabilidades de elección de modo por parte de los usuarios se empleó la ecuación (5-10) sobre el modelo previamente calibrado pero esta vez con los valores revelados de tiempo de viaje, costo y tarifa para el caso del metro.

$$P_{in} = \frac{e^{(\mu * V_{in})}}{\sum_{A_j \in A_n} e^{(\mu * V_{jn})}} \quad (5-10)$$

Dónde:

- P_{in} : Probabilidad de elegir el modo i por parte del individuo n
 V_{in} : Utilidad del modo i
 V_{jn} : Sumatoria utilidades de todos los modos disponibles hasta el modo j

Esta expresión fue aplicada a 1747 individuos encuestados teniendo en cuenta la distribución real de las variables tiempo y costo de viaje producto de la encuesta PR realizada en conjunto con la PD. En el Anexo A. Enumeración muestral se presenta el detalle de los cálculos realizados.

Demanda potencial desde los modos Auto, Bus, Metroplús y Taxi

La Tabla 2121 presenta los resultados de la enumeración muestral en cuenta a la probabilidad de elección de cada modo y pondera sobre la totalidad de los viajes a la zona de influencia de la línea F.

Tabla 21. Probabilidades de uso

Modo actual	Probabilidad modo	Probabilidad metro (Línea F)	Viajes totales ³	Pronóstico de Viajes en modo actual	Pronóstico Viajes captados por Línea F
Auto	82,3%	17,7%	33 396	27 492	5 904
Bus	43,9%	56,1%	74 387	32 653	41 734
Metroplús	46,8%	53,2%	2 025	948	1 077
Taxi	41,5%	58,5%	16 394	6 797	9 597
Total			126 202	67 890	58 312

Fuente: Elaboración propia.

Calculo de la elasticidad para los modelos de elección discreta

La elasticidad en los modelos de elección discreta estimados, se define como la sensibilidad de la probabilidad de elegir el modo evaluado ante un cambio en la variable explicativa, en este caso una variación en el costo del viaje del 1%.

La expresión matemática empleada para la elasticidad como variación porcentual de la variable costo del parqueo será:

$$\xi = \frac{\text{Variación porcentual de la probabilidad de elegir modo}}{\text{Variación porcentual de la variable costo de viaje}} \quad (5-11)$$

La cual se puede reescribir como:

$$\xi = \frac{\partial P_a C_a}{\partial C_a P_a} \quad (5-12)$$

Lo cual al desarrollar la expresión se obtiene que:

³ Los viajes totales aquí considerados corresponden a los de la encuesta OD del año 2012.

$$\xi = -\beta_c(1 - P_m)C_a \quad (5-13)$$

Donde:

- β_c : Coeficiente estimado para la variable costo de viaje
- P_m : Probabilidad de que el individuo realice el viaje su modo habitual
- C_a : Valor del costo

La Tabla 2222 es indicativa de la elasticidad del modo auto ante la variación porcentual del 1% en el variable costo de parqueo:

Tabla 22: Elasticidad al precio de los modos y del Metro para usuarios de un modo

Modo	Elasticidad directa	Elasticidad directa del Metro para usuarios de un modo
Auto	-0,16	-0,85
Bus	-1,51	-1,81
Metroplús	-1,30	-0,89
Taxi	-0,19	-0,37

Fuente: elaboración propia.

La elasticidad con respecto al costo de viaje señala el aumento o disminución, en porcentaje, de la probabilidad de elegir el vehículo privado cuando aumenta un 1% la variable costo, la elasticidad del costo será siempre negativa, ya que el aumento de la variable será percibida por el individuo como un costo adicional, de tal forma que el grado de atractividad de la alternativa disminuye. De la Tabla 222 se deduce que el modo más inelástico es el auto ya que incrementos en el costo de viaje no son percibidos de la misma manera que para el modo bus donde un incremento del mismo orden puede tener más incidencia en su elección.

Para los usuarios de todos los modos, el Metro presenta elasticidades mayores en valor absoluto al modo inicialmente usado, excepto en el Metroplús, en la cual la sensibilidad a la tarifa es mayor en el modo Metroplús que en el Metro.

6. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DESVIADA DE OTRAS LINEAS DE METRO Y METROPLUS

REVISIÓN DE LA ENCUESTA ACTUAL DE METRO 2014

La demanda de pasajeros que se transferiría de otras líneas a la nueva línea F se estimó empleando la encuesta Origen-Destino del Metro de Medellín 2014 (Metro de Medellín, 2014), en la cual se extrajeron todos aquellos viajes para los cuales sus tiempos se verían reducidos o sería indiferente al emplear la nueva línea.

CARACTERIZACIÓN DE VIAJES EN METRO

A partir de la matriz OD del Metro de Medellín (Metro de Medellín, 2014), se obtiene la caracterización de los viajes por zonas, dividiendo los destinos en los siguientes grupos:

- **Grupo 1.** Línea A Zona Norte (Niquía – Caribe) y Cables K, L.
- **Grupo 2.** Línea A Zona Central (Universidad – Exposiciones).
- **Grupo 3.** Línea A Zona Sur (Industriales – La Estrella).
- **Grupo 4.** Línea B y Cable J.
- **Grupo 5.** Línea Metroplús L1/L2 occidente (Universidad de Medellín, Industriales Buses)
- **Grupo 6.** Línea Metroplús L1 Centro (Industriales – Ruta N)
- **Grupo 7.** Línea Metroplús L2 Centro (Industriales – Prado Buses)
- **Grupo 8.** Línea Metroplús L1 y L2 Oriente (Hospital Buses – Aranjuez).

A continuación, se presenta la Tabla 23: Caracterización de viajes realizados - OD Metro de Medellín, la cual relaciona el número de viajes realizados en un día entre los grupos antes mencionados.

Tabla 23: Caracterización de viajes realizados - OD Metro de Medellín

Desde\Hacia	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Total
Grupo 1	42,528	54,285	87,163	42,427	9,304	3,400	499	4,710	244,316
Grupo 2	58,258	15,481	57,604	40,451	1,120	1,342	120	3,508	177,884
Grupo 3	85,930	60,396	41,453	70,170	2,146	1,796	60	9,516	271,467
Grupo 4	48,304	42,640	75,830	21,335	1,741	1,790	30	5,456	197,126
Grupo 5	13,971	1,100	2,800	6,342	16,747	4,829	5,437	6,871	58,097
Grupo 6	1,583	1,390	5,868	3,247	4,065	948	206	3,507	20,814
Grupo 7	78	812	458	33	3,949	676	1,064	4,813	11,883
Grupo 8	4,180	4,100	17,250	8,150	5,754	3,028	3,302	5,950	51,714
Total	254,832	180,204	288,426	192,155	44,826	17,809	10,718	44,331	1'033,301

Fuente: (Metro de Medellín, 2014), Elaboración propia.

ESTIMACIÓN DE USUARIOS QUE PASAN DE OTRAS LÍNEAS A LA NUEVA LÍNEA F

Tal como se mencionó en la metodología es necesario estimar la demanda de cuatro grupos de usuarios actuales de metro que podrían cambiar a la línea F por las ventajas que esta pudiera ofrecer, esos grupos son:

- **Usuarios U-1:** Usuarios actuales de Metro que pasan de emplear línea A a utilizar la nueva línea F para conectarse más rápido entre estaciones del Norte y del Sur.
- **Usuarios U-2:** Usuarios actuales de Metro que cambian de línea A a la línea B y para ello usan la línea F, haciendo su transferencia en Macarena, evitando el transbordo en San Antonio.
- **Usuarios U-3:** Que cambian de las líneas A y Metroplús haciendo su transferencia en Industriales para tomar la línea F hacia el Norte y viceversa.
- **Usuarios U-4:** Usuarios actuales de Metro que indistintamente usan línea A o línea F en tramos comunes de las dos líneas en el Norte y en el Sur.

Para saber cuántos usuarios pertenecerán a cada uno de los cuatro grupos se dividieron las estaciones de las diferentes líneas del metro y Metroplús en cuatro grupos de zonas. Estos grupos correspondientes a las estaciones para las cuales cualquier viaje realizado entre estaciones de dichos conjuntos reduciría el tiempo de viaje o sería equivalente a tiempo de viaje actual. Al tomar estas estaciones y filtrar los viajes que eran realizados entre las mismas fue posible obtener un valor estimado del número de viajes que pasarían a la nueva línea F. A continuación, se presentan los grupos de estaciones que se tomaron en cuenta.

Figura 19: Grupos de estaciones empleados para estimar demanda desviada a partir de la encuesta
Origen- Destino del Metro

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Niquía Bello Madera Acevedo Tricentenario Caribe Andalucía Popular Santo Domingo Arví	Industriales Poblado Aguacatala Envigado Itagüí Sabaneta Estrella	Suramericana Estadio Floresta Santa Lucía San Javier Juan XXIII Vallejuelos La Aurora	UdeM La Palma Parque de Belén Rosales Fátima Nutibara Industriales Buses

Fuente: Elaboración propia

La zona 1 contiene las estaciones que están al norte de la estación Caribe, la zona 2 contiene las estaciones que están al sur de la estación industrial. La zona 3 contiene las estaciones que están al occidente de la nueva estación Macarena de la línea F, y la zona 4 contiene las estaciones de Metroplús que están al occidente de la estación industrial.

A los usuarios que cambian de línea usando el tramo de nueva construcción de la línea F se le llamará Conjunto VF_1 , y son aquellos usuarios que percibirían una reducción de tiempo de viaje significativa (alrededor de 10 minutos) y se transferirían a la nueva línea F.

En otro caso, asumiendo que la línea F operara desde Niquía hasta la Estrella, habría un conjunto VAF , conformado por los usuarios que, compartiendo la misma infraestructura al norte de Caribe o al Sur de Industriales, no estarían ligados a ninguna de las dos líneas (A o F) y tomarían la línea correspondiente al vehículo que primero arribe a la estación de origen del viaje. Para estimar los usuarios que usarían la línea F en este conjunto se calcula una proporción de los mismos, la cual dependerá de la frecuencia de la línea F en comparación a la frecuencia de la línea A. Entonces el volumen de viajes VF_2 estará dado por la siguiente ecuación:

$$VF_2 = VAF \left(\frac{f_F}{f_A + f_F} \right) \quad (6-1)$$

Con

$P(\text{Línea F})$: Probabilidad de elección de la línea F
 f_F : Frecuencia Línea F
 f_A : Frecuencia Línea A

En este estudio se toman ambas frecuencias como iguales tanto en hora pico como en hora valle, obteniendo de esta manera una probabilidad de uso de la línea F del 50%⁴. El presente informe contemplará frecuencias iguales para las líneas (A y F), sin embargo, en caso de existir diferencias en las frecuencias se presenta la siguiente ecuación que permitirá afectar el valor de la demanda de viajes para la Línea en caso de tener diferencias en las frecuencias entre las líneas tomando como base el valor obtenido para frecuencias iguales.

$$D_t = VF_1 + VF_2 \left(\frac{f_F}{f_A + f_F} \right) \quad (6-2)$$

Con

D_t : Demanda transferida
 VF_1 : Viajes que cambian de otras líneas hacia la línea F
 VF_2 : Viajes que cambian de la línea A a la F para tramos coincidentes en infraestructura en el norte o en el sur.
 f_F : Frecuencia Línea F
 f_A : Frecuencia Línea A

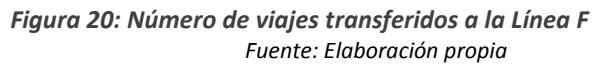
Una vez establecidas las estaciones y los grupos se empleó la encuesta Origen-Destino del Metro de Medellín (Metro de Medellín, 2014), para obtener el número de viajes que se realizan entre ellas. Los resultados se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 24: Máximo Volúmen de viajes transferidos a la Línea F intervalos de 15 min

Hora	VF_1	VF_2	Total General línea F
06 30 - 06 45	14295	971	15266
18 15 - 18 30	11778	1020	12798

Fuente: Elaboración propia

⁴ Se espera que la línea F sea más atractiva, pero se asumirá una posición conservadora con respecto a este aspecto, aunque eso dependerá también de la frecuencia y el nivel de servicio.



pág. 50

7. DEFINICIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DE LA LÍNEA

Después de obtener la demanda de nuevos usuarios para la nueva línea que se pretende poner en funcionamiento, transferidos de otros modos al modo metro, a partir de la aplicación de modelos de elección discreta (Apartado 7) y con la demanda de usuarios que se transferiría a la nueva línea desde las existentes, es posible obtener la demanda total de la línea, la cual se obtiene con la sumatoria de estas demandas. A continuación, se presenta la Tabla 25: Demanda total de Línea F

Tabla 25: Demanda total de Línea F en viajes/día

		Demanda
Nuevos Usuarios - Viajes transferido desde modo Actual	Auto	5 900
	Bus	41 700
	Metroplús	1 100
	Taxi	9 600
Viajes Transferidos de modo Metro VF_1		403 700
Viajes Transferidos de modo Metro VF_2^5		42 000
Viajes Línea F		504 000

Fuente: Elaboración propia, redondeado a centenas

La Tabla 25 muestra que la demanda total de viajes por nuevos usuarios generados por la nueva línea correspondería a 58 300 viajes/día y la demanda de viajes que se transferirían a la nueva línea desde el modo metro sería de 445 700 viajes/día, totalizando 504 000 viajes/día que se realizarían diariamente a través de la nueva línea.

Esto significaría valores próximos a los 50 000 viajeros por hora en ambos sentidos.

⁵ Demanda calculada para el caso de iguales frecuencias en las Líneas A y F

8. COMPARACIÓN CON LA DEMANDA OBTENIDA POR EL ÁREA METROPOLITANA

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá cuenta con un modelo multimodal de cuatro etapas para la región metropolitana del Valle de Aburrá desarrollado en el software EMME en su versión 4. El modelo permite incorporar en su red nuevos proyectos como el de la línea F de metro, junto con otros proyectos previstos, como el tranvía de la 80 y el cable Picacho, permitiendo la modelación de diversos escenarios. Los distintos escenarios con los que cuenta el modelo se presentan en la Tabla 26.

Tabla 27: Escenarios propuestos por el Área Metropolitana para la modelación de la Línea F

Escenario	Escenario	Proyectos adicionales Masivo	Escenario urbano	Racionalización
1 (A)	Corredor 80 (1/3)	U larga	Tendencial	Sin racionalización
1 (B)				
2 (A)			Contraste	Sin racionalización
2 (B)				
3 (A)	Corredor 80 (completo)	U larga	Tendencial	Sin racionalización
3 (B)				
4 (A)			Tendencial	Racionalización rutas TPC 300, 301, C3-001
4 (B)				
5 (A)			Contraste	Sin racionalización
5 (B)				
6 (A)	Corredores 80 + 34 (completos)	U larga + Línea F	Tendencial	Sin racionalización
6 (B)				
7 (A)			Contraste	Sin racionalización
7 (B)	Corredor 80 (2/3)	U larga	Tendencial	Sin racionalización
8 (B)				
9 (B)	Corredor 80 - Alta racionalización			Racionalización rutas TPC mas alta 300, 301, 302, 303, 315, 316, C3-001
10 (B)	Corredor 80 - Velocidad tranvía 20Km/h	U larga	Tendencial	Sin racionalización
11 (B)	Corredor 80 - Velocidad tranvía 30Km/h			
12 (B)	Corredor 80 - Reducción velocidad privado un 20%			
13 (B)	Corredor 80 - Tarifa SITVA = TPC			
14 (B)	Corredor 80 - Tarifa SITVA > TPC			

Fuente: Resultados Estudio Área Metropolitana

En la Tabla 28: Demanda obtenida modelo Área Metropolitana, además del escenario tendencial se presenta uno de contraste. En cuanto a usos del suelo, el escenario tendencial

es más conservador que el escenario de contraste. (A y B en el escenario son los trazados de la 80, A el inicial y B el que se actualizó en 2016)

La demanda de la línea F se obtuvo a partir del modelo antes mencionado, dentro de uno de los escenarios que contemplan los corredores de La 80 y la 34 completos. Las premisas de este escenario se describen a continuación:

- Periodo de Modelación:	Hora de máxima demanda (HMD) de la mañana comprendida entre las 7:00 – 8:00 AM.
- Escenario base:	Tranvía Ayacucho + Cable M + Cable H + Cable Picacho
- Escenario Proyectos adicionales Masivo	U larga + Línea F
- Escenario urbano	Tendencial
- Racionalización	Sin racionalización
- Matriz	2020
- Transporte público colectivo (TPC)	Situación actual, es decir sin Sistemas de Rutas del TPM
- Estructura tarifaria	Ingreso SITVA \$50 más económico que TPC
- Escenario de urbanismo	Tendencial (crecimiento normal) y Contraste (cumplimiento de la norma).
- Intervalo de operación del corredor	4 minutos
- Velocidades (km/h)	Línea A = 37 Línea B = 32 Línea 80 = 25 Línea TA = 20 Línea F = 42

Los resultados obtenidos a partir de la modelación de este escenario son los siguientes:

Tabla 28: Demanda obtenida modelo Área Metropolitana

	Línea	Demanda/hora pico
MLF1	Línea F NIQ-EST	32277
MLF2	Línea F EST-NIQ	16638
MLF	Línea F Ambos sentidos	48915

Fuente: Elaboración propia, redondeado a centenas

La movilización máxima horaria en ambos sentidos es similar a la obtenida por la metodología empleada por la Universidad Nacional 50 000 pasajeros / hora pico/ ambos sentidos. En las

siguientes figuras se presentan las cargas del sistema (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) y los accesos en las estaciones (Figura 20).



Figura 21: Cargas del sistema
Fuente: Resultados Área Metropolitana



Figura 22: Cargas de acceso en las estaciones de la Línea F
(a) Niquía – La Estrella (b) La Estrella Niquía
Fuente: Resultados Área Metropolitana

La estación de Macarena presenta un flujo horario de cerca de 8000 viajeros/hora en el sentido de Niquía a la Estrella (5387 ascienden y 2800 descienden) y también, la misma estación mueve 4000 viajeros/hora en el sentido Estrella-Niquía (1837 ascienden y 2186 descienden), por lo que en el día se aproximaría a los 90 mil pasajeros. Esto desahogará a la congestionada estación San Antonio.

Por otra parte, la estación de la Universidad Nacional presenta un descenso de 1345 viajeros/hora en el sentido de Niquía a la Estrella y 1204 viajeros/hora en el sentido Estrella-Niquía, para un total de 2500 viajeros/hora, o 25.000 viajeros/día. De esta forma la Estación Universidad Nacional será una estación con una utilización similar a la de las demás estaciones de tamaño medio del sistema metro.

9. CONCLUSIONES

La demanda total diaria de la nueva línea F asciende a 504 000 viajeros/día si funcionara desde Niquía hasta La Estrella con una frecuencia igual a la de la Línea A. De esa demanda la mayoría (88,4%) son demanda actual producto de la transferencia de usuarios actuales del modo metro a la nueva línea, lo cual equivale a 445 700 viajes/día, representando un 89,3 % de los viajes estimados, esto en el caso que la nueva línea presente la misma frecuencia que la Línea A. No obstante, mientras que los trenes que circulen por la línea A serán de 3 vagones los de la línea F serán de mayor composición, por ejemplo 6 vagones.

Con la introducción de la Línea F se genera reducción del 53% en el número de viajes que se realizan a través de la línea A, que actualmente presenta congestión y demoras asociadas a esta en el tramo central, por tanto, es de esperar que al introducir la nueva línea F al sistema se generen nuevos usuarios que no empleaban el modo debido a la congestión y demoras. El cálculo de esta demanda inducida para la línea A se encuentra fuera del alcance del presente estudio, sin embargo, se advierte que el número de viajes generados por la línea A se incrementará debido a la mejora de su comodidad.

La demanda derivada de otros modos en la línea F asciende a 58 312 viajes/día teniendo en cuenta los viajes realizados a la zona de influencia entre Caribe y Macarena. Los modos desde los cuales se obtienen las mayores probabilidades de uso luego de la aplicación del modelo de elección son el bus y el taxi, con 72% y 16% representando estos el 88% del total de viajes nuevos de la línea F, aportando un aproximado de 51 300 viajes/día, seguido por el auto los cuales representan el 10% con 5 900 viajes/día.

Teniendo en cuenta los modos evaluados para la estimación de la demanda de usuarios para la línea F, no fue posible estimar los parámetros del modelo para los modos bicicleta, caminata y moto, lo anterior se relaciona con las características propias de cada modo, sus determinantes y grado de atractividad del metro para realizar sus viajes comparado con las características de sus modos actuales.

La demanda aportada desde el modo Metroplús es complementaria al Metro ya que ambas alternativas no son alternativas independientes.

Los viajes que aportan cada modo evaluado son asociados a la unidad de medida temporal día dado que no se calibró un modelo de elección de hora con el cual fuese posible conocer la distribución dicha demanda.

La demanda de la línea F requeriría despachos en hora pico cercanos a los 5 minutos de intervalo con trenes de 6 vagones, con el fin de poder transportar los cerca de medio millón de viajeros por día (50.000 pasajeros/hora pico/ambos sentidos), aunque siempre habrá un sentido más cargado en la mañana y el contrario en la tarde con cerca de 32 000 pas/hora/sentido.

La Estación de la Universidad Nacional tendrá inicialmente un uso de unos 25. 000 pasajeros día, lo cual es una afluencia de una estación de tamaño medio en el sistema metro.

Este estudio se convierte en un insumo básico para siguientes estudios que estimarán el costo de las infraestructuras, los costos de los trenes necesarios y demás aspectos operativos. Con

dichos costos se podrán hacer estudios de evaluación financiera y económica que permitan avanzar en la consolidación de este importante proyecto.

El proyecto de la línea F no se queda en un simple proyecto urbano de Niquía a la Estrella, sino que en un futuro se puede convertir en la línea para otros servicios como el tren de cercanías y trenes nacionales conecten el norte con el sur del Valle de Aburrá, proyectos que también requerirán actualizaciones de la estimación de la demanda y estructuraciones financieras y económicas.

10. BIBLIOGRAFÍA

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012). *Encuesta Origen - Destino a hogares del Valle de Aburrá*. Medellín.

Metro de Medellín. (2014). *Encuesta Origen Destino*. Medellín.

Bierlaire, M. (2009). Estimation of discrete choice models with Biogeme.

Córdoba, J., 2010. Modelo de elección discreta integrando variables latentes y racionalidad limitada. Tesis doctoral – Ingeniería - Área Sistemas, Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín) Facultad de Minas

Córdoba, J. (2014). Automatic preferences in the choice of transport mode. In *Congreso ingeniería de transporte*. Santander, España.

Domencich, T. A., & McFadden, D. (1975). *Urban Travel Demand-A Behavioral Analysis* (RPRT).

Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2001). *Modelling transport* (Vol. 7). BOOK, Wiley Chichester:

Tversky, A. (1972). Elimination by aspects: A theory of choice. *Psychological Review*, 79(4), 281–299. JOUR. <http://doi.org/10.1037/h0032955>