



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Efectos de la movilidad en el capital social, caso de estudio corredor verde de la carrera séptima

Ana María Cordero León

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia
2023

Efectos de la movilidad en el capital social, caso de estudio corredor verde de la carrera séptima

Ana María Cordero León

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería-Transporte

Director (a):

Doctor Carlos Alberto Moncada Aristizábal

Codirector (a):

Doctor César Augusto Ruiz Rojas

Línea de Investigación:

Planeación de la Movilidad

Grupo de Investigación:

Programa de Investigación en Transporte, Movilidad y Territorio (PIT)

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2023

*No hay ninguna lógica que pueda ser
impuesta a la ciudad; la gente la hace, y es a ella, no
a los edificios, a la que hay que adaptar nuestros
planes*

Jane Jacobs

A mis padres, mi abuelita y Tintin

Declaración de obra original

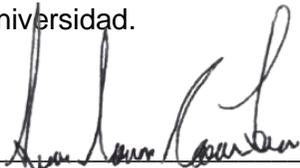
Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Nombre: Ana María Cordero León

Fecha 29/01/2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en mi trayectoria académica y en la realización de mi trabajo de grado de maestría. Sus apoyos incondicionales y valiosas contribuciones han dejado una huella imborrable en este viaje.

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud hacia mi director y líder, Carlos Moncada, por su inquebrantable respaldo, confianza, apoyo durante todo este trayecto y por brindarme su mano en los momentos más cruciales. Su orientación ha desempeñado un papel fundamental en mi desarrollo académico, profesional y personal, abriéndome las puertas a diversas oportunidades y experiencias en colaboración con distintas universidades e instituciones. Agradezco sinceramente cada día de mentoría y dirección proporcionados por él. Su influencia ha sido una fuente invaluable de crecimiento y aprendizaje en mi vida.

Agradezco también al profesor César Ruiz, cuyas dedicadas horas de discusiones profundas, de apoyo incondicional han sido cruciales para mi comprensión del complejo concepto de capital social y de la vida. Su mentoría ha sido una luz en el camino de mi investigación y más allá de eso es un guía que espero conservar a lo largo de la vida. Su compromiso y sabiduría han dejado una huella duradera en mi desarrollo académico y personal.

A mamá y papá, mis grandes amores y mi gratitud eterna. Gracias por su apoyo, por creer en mis sueños y proyectos de vida, y por regalarme tanto amor y darme la fuerza para continuar en el camino. No saben cuánto los amo, son mi motivación para completar cada una de mis metas. A mi abuelita por sus sonrisas y bendiciones. También quiero recordar a Tintin, mi perrito, compañero de madrugadas, ahora descansando, cuya presencia siempre fue reconfortante y quedará siempre en mi corazón.

A la Universidad Nacional de Colombia, mi eterno hogar. Expreso mi profundo agradecimiento a esta institución por brindarme la oportunidad de estudiar y experimentar un crecimiento tanto personal como académico. Su compromiso con la excelencia académica ha sido una guía constante, respaldándome y proporcionándome el apoyo necesario para alcanzar mis metas. Agradezco también por mostrarme las diversas realidades de mi país, inculcarme conciencia social y demostrar un genuino interés en el bienestar de nosotros, los estudiantes. Mil gracias, y aunque extrañaré profundamente esta institución, espero con ansias la posibilidad de regresar en el futuro.

A mis compañeros y amigos, su apoyo ha sido invaluable. Las discusiones enriquecedoras y el ambiente colaborativo han sido determinantes en mi formación, además de brindarme espacios seguros y de apoyo, gracias por sus colaboraciones y valiosas aportaciones, que han enriquecido mi trabajo de maneras inesperadas, con su comprensión y aliento, han sido un sostén emocional invaluable.

A las fuentes de financiamiento y a las instituciones colaboradoras, su respaldo financiero y participación práctica han sido esenciales para el éxito de mi proyecto. Gracias especialmente al Sistema General de Regalías que a través del proyecto de investigación en el cual trabajo como investigadora me ha brindado herramientas económicas y académicas.

Y finalmente, a mí misma, Ana María que definitivamente ha crecido desde que inició la maestría hasta este punto, por la dedicación, perseverancia y esfuerzo constante a pesar de las dificultades.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por ser parte integral de este capítulo significativo en mi vida académica. Este trabajo de grado no solo es mío, sino de todos los que han contribuido a mi crecimiento y éxito. Gracias.

Resumen

Efectos de la movilidad en el capital social, caso de estudio corredor verde de la carrera séptima

Este trabajo desarrolla de manera integral la interrelación bidireccional entre capital social en entornos urbanos y las elecciones modales de transporte de los individuos, tomando el caso de estudio la zona que intervendrá el proyecto de transformación de la carrera séptima en Bogotá. A partir de unas reflexiones teóricas sobre la noción de capital social expresado en los viajes de transporte público, la investigación propone una metodología de aplicación de un modelo de elección discreta de máxima verosimilitud con datos de la Encuesta de Movilidad de Bogotá 2019. Los resultados revelan no solo la influencia del capital social preexistente en el uso del transporte público, sino también el potencial cambio del capital social inducido por nuevos proyectos urbanos que afectan las decisiones de movilidad. Se encuentra como un resultado de esta aproximación metodológica, la influencia bidireccional entre el capital social y las elecciones de movilidad urbana, como una oportunidad y un reto de integrarlos en los futuros proyectos urbanos.

Palabras clave: Capital Social, Elección de transporte, Accesibilidad al transporte público, Movilidad Urbana

Abstract**Effects of Mobility on Social Capital: A Case Study of the Carrera Séptima Green Corridor**

This study comprehensively explores the bidirectional interrelation between social capital in urban settings and individuals' modal transportation choices, using the intervention zone of the transformation project along Carrera Séptima in Bogotá as a case study. Grounded in theoretical reflections on the concept of social capital manifested in public transportation journeys, the research proposes a methodology applying a maximum likelihood discrete choice model with data from the 2019 Bogotá Mobility Survey. The findings not only unveil the influence of pre-existing social capital on the use of public transportation but also the potential shift in social capital induced by emerging urban projects affecting mobility decisions. As an outcome of this methodological approach, the study identifies a bidirectional influence between social capital and urban mobility choices, presenting both an opportunity and a challenge for integration into future urban projects.

Keywords: Social Capital, Transportation Choice, Public Transportation Accessibility, Urban Mobility

Contenido

	Pág.
1. Capital social	21
1.1 Mediciones del capital social.....	23
1.2 Dimensionalidad del Capital social.....	24
1.3 Relación capital social, movilidad, transformaciones urbanas y accesibilidad al transporte público	26
1.4 Transporte público como dinamizador del capital social individual	28
2. Propuesta metodológica de medición de capital social asociado al viaje	29
2.1 Modelo de elección discreta para integrar el capital social en las decisiones de viaje	31
2.2 Caracterización Capital Social: Escala territorial- Proyecto corredor verde carrera séptima	33
2.3 Caracterización Capital Social: Análisis de indicadores área de estudio	34
2.4 Estimación de capital social: Análisis de componentes principales para índice sintético de capital social	37
2.5 Preparación de datos para modelo de elección discreta: Estandarización de costos y viajes para un modelo de elección	39
2.4.1 Costos de viaje.....	39
2.4.2 Tiempos de viaje	39
3. Desarrollo de propuesta metodológica	41
3.1 Desarrollo caracterización Capital Social: Escala territorial.....	41
3.2 Desarrollo de la línea base a partir de la estimación del capital social asociado al viaje: Análisis de componentes principales	45
3.3 Preparación de datos modelo de elección: Estandarización costos de viaje	57
3.4 Preparación de datos modelo de elección: Estandarización y cálculo de tiempos de viaje	59
3.5 Desarrollo de Modelo de elección discreta para integrar el capital social.....	60
3.5.1 Modelo de elección discreta sin capital social.....	60
3.5.1.1 Análisis estadístico modelo sin capital social	63
3.5.2 Modelo de elección discreta con capital social	63
3.5.2.1 Análisis estadístico modelo con capital social.....	68
3.5.3 Comparación de resultados de modelos	69
4. Análisis de resultados	71
5. Conclusiones	75
6. Bibliografía	78

Lista de Imágenes

	Pág.
Imagen 2-1: Proyecto corredor verde de la carrera séptima en Bogotá. Tomada de https://septimaverde.gov.co/concepto	34
Imagen 3-1: Carrera séptima entre la calle 24 y la calle 39. Elaboración propia.	42
Imagen 3-2: Carrera séptima entre la calle 39 y la calle 100. Elaboración propia.	42
Imagen 3-3: Buffer con ZAT dentro del área de influencia. Elaboración propia.....	43
Imagen 3-4: Matriz de correlación entre indicadores. Elaboración propia.	46
Imagen 3-5: Mapa de capital social ZAT origen. Elaboración propia.....	54
Imagen 3-6: Mapa de capital social viajes relevantes. Elaboración propia.....	56

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1: Listado de ZAT en el área de estudio. Elaboración propia.	43
Tabla 3-2: Componentes principales. Elaboración propia.	48
Tabla 3-4: Multiplicación de matriz original con matriz de componentes principales. Elaboración propia.	50
Tabla 3-5: Valores más altos y bajos de capital social de viajes entre UPZ. Elaboración propia.	55
Tabla 3-6: Consumo de gasolina. Elaboración propia.	57
Tabla 3-7: Costos por minuto de gasolina. Elaboración propia.	57
Tabla 3-8: Costos de operación. Elaboración propia.	58
Tabla 3-9: Costos por minuto de auto y moto. Elaboración propia.	58
Tabla 3-10: Constantes modelo sin capital social. Elaboración propia.	61
Tabla 3-11: Resultado modelo SCS Python. Elaboración propia.	62
Tabla 3-12: Matriz de confusión sin capital social. Elaboración propia.	63
Tabla 3-13: Constantes modelo con capital social. Elaboración propia.	66
Tabla 3-14: Resultado modelo SCS Python. Elaboración propia.	67
Tabla 3-15: Matriz de confusión con capital social. Elaboración propia.	68
Tabla 3-16: Matriz de correlación modelo sin capital social. Elaboración propia.	69

Lista de Diagramas

	Pág.
Diagrama 1-1: Relación de capital social y elecciones del uso de EPUM. Elaboración propia	27
Diagrama 2-1: Componentes que definen el capital social. Elaboración propia.....	35
Diagrama 3-1: Varianza vs número de componentes. Elaboración propia.....	47
Diagrama 3-2: Procedimiento para el cálculo de índice de Capital Social. Elaboración propia.....	53
Diagrama 3-3: Modelo de elección discreta sin capital social. Elaboración propia.....	61
Diagrama 3-4: Modelo de elección discreta sin capital social	66
Diagrama 4-1: Relación bidireccional entre movilidad y capital social. Elaboración propia.....	72

Introducción

La planificación urbana y la integración de diferentes modalidades de transporte son fundamentales para construir ciudades saludables, donde se puedan desarrollar plenamente las capacidades de sus habitantes. Esto implica incentivar el crecimiento económico, proporcionar accesibilidad de los ciudadanos a sus servicios básicos, mejorar las relaciones sociales, disminuir la desigualdad y generar sostenibilidad ambiental (Gehl, 2010; Litman, 2021). En este contexto, el presente trabajo se enfocará en desarrollar una metodología para medir la influencia del capital social en las elecciones modales de transporte, así como en analizar cómo estas elecciones se ven afectadas por las transformaciones urbanas que amplían la oferta modal.

En este contexto de desafíos urbanos que abarcan desde la movilidad hasta la construcción de capital social, entendido como las características de una comunidad como sus conexiones sociales y normas de confianza social que facilitan la cooperación para obtener beneficios comunes (Putnam, 2000). Chapinero en Bogotá se presenta como un escenario intrigante para explorar la intersección entre movilidad, espacio público y capital social. Este estudio tiene como objetivo analizar, cómo influye el capital social del viaje en las elecciones modales de transporte privado y público colectivo, especialmente, en el contexto de transformaciones urbanas como el proyecto de corredor verde de la carrera séptima que incide en la oferta de transporte público.

La metodología utilizada en esta investigación se fundamenta en un modelo de elección discreta, específicamente en el modelo de elección de máxima verosimilitud. Al emplear este modelo, se busca explorar la complejidad de las elecciones individuales en relación con las características de viaje, la accesibilidad al transporte público, el costo, el tiempo y la experiencia del viaje (Ben-Akiva & Lerman, 1985).

La elección modal, que tradicionalmente se ha abordado desde perspectivas cuantitativas basadas en factores económicos y temporales, se redefine en esta investigación considerando la influencia del capital social. Se postula en este documento de investigación una relación bidireccional entre el capital social y la elección modal de transporte. Es decir, no solo se analiza cómo el capital social impacta la disposición hacia el uso del transporte público, sino también cómo las elecciones modales pueden contribuir a la formación y transformación del capital social (Cantillo-García et al., 2020). Ese es un aspecto que abre la posibilidad a nuevas investigaciones del transporte y planificación urbana desde una perspectiva integral.

A partir de la premisa de que el capital social se ve afectado dentro del transporte público al permitir espacios de interacción, estableciendo así una conexión intrínseca entre la

movilidad y la construcción de la red social. la mejora de la accesibilidad al transporte público facilita cambios significativos en el capital social, influenciando la interacción social, la reducción de tiempos de espera y el acceso general a la experiencia de los viajes (Di Ciommo et al., 2014).

La metodología se apoya en datos recopilados a través de la encuesta de movilidad realizada en Bogotá el pasado 2019, específicamente evaluando el tiempo de espera, tiempo de acceso, la generación de costos adicionales y la experiencia del viaje. Estos elementos se consideran como indicadores que ofrecen una aproximación de la accesibilidad al transporte público, lo que, a su vez, se convierte en un barómetro para medir el capital social asociado al viaje individual (Narayan & Cassidy, 2001).

En los siguientes capítulos, se presentará una revisión bibliográfica y un planteamiento teórico del capital social. Posteriormente, se abordará la escala territorial y se detallará el proyecto corredor verde de la carrera séptima. A continuación, se explicará una propuesta metodológica para la medición de capital social asociado al viaje, con una visión de accesibilidad. Este enfoque busca proporcionar una comprensión de la influencia del capital social en las elecciones modales de transporte. Finalmente, se presentará el modelo de elección discreta de máxima verosimilitud, como instrumento analítico que se utilizará para comprobar la hipótesis de la incidencia del capital social en la elección modal de transporte público (Putnam, 2000; Bourdieu, 1986).

Se espera que al final del documento al explorar la relación bidireccional entre capital social y elección modal, se esclarezca la interacción mutua de estos elementos esenciales en la configuración de comunidades urbanas más cohesionadas y participativas, tomando en cuenta que se parte de que el proyecto de la carrera séptima aportará en el capital social al ampliar la oferta de transporte público.

Esta tesis tiene como objetivo principal investigar el impacto del corredor verde de la carrera 7ma en el capital social de los individuos en su área de influencia. Para ello, se ha definido un objetivo general y una serie de objetivos específicos que guiarán el desarrollo de la investigación y permitirán una comprensión profunda y detallada de las dinámicas sociales y de movilidad en el área de estudio. A continuación, se presenta el objetivo general de la investigación, seguido de los objetivos específicos:

Objetivo general:

Establecer un marco de medición y estimación de capital social a partir de su escogencia modal de transporte de la población influenciada por el corredor verde de la carrera 7ma desde la calle 24 hasta la calle 100.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar las preferencias y el entorno social de las personas respecto al uso del transporte público y movilidad activa, identificando las variables de elección que determinan los factores de capital social de los individuos en el área de influencia del corredor verde de la carrera 7ma.
2. Desarrollar y proponer una línea base de volumen de capital social basado en su escogencia modal de transporte de la población influenciada por el corredor verde de la carrera 7ma desde la calle 24 hasta la calle 100.
3. Analizar y estimar el capital social con base en las decisiones de elección modal a partir de la elaboración de un modelo de elección discreta.

Justificación

La relevancia de este estudio radica en su capacidad para llenar un vacío significativo en la literatura existente sobre la intersección entre movilidad urbana y capital social. La planificación urbana y la integración de diferentes modalidades de transporte son fundamentales para construir ciudades saludables, incentivando el crecimiento económico, proporcionando accesibilidad a servicios básicos, mejorando las relaciones sociales, disminuyendo la desigualdad y generando sostenibilidad ambiental.

Sin embargo, a pesar de que numerosos estudios han abordado la influencia de factores económicos y temporales en las elecciones modales de transporte (Ben-Akiva & Lerman, 1985), pocos han explorado de manera exhaustiva cómo el capital social, entendido como las conexiones y normas sociales que facilitan la cooperación y los beneficios mutuos (Putnam, 2000), influye en estas decisiones. Investigaciones recientes, como la de Cantillo-García et al. (2020), han comenzado a considerar el capital social en contextos específicos como el TransMiCable en Bogotá, pero estas iniciativas aún no han capturado completamente la complejidad y la bidireccionalidad de la relación entre capital social y elección modal en un entorno urbano en transformación. Al enfocarse en el proyecto del corredor verde de la carrera séptima, este estudio no solo amplía el entendimiento académico de esta relación, sino que también proporciona datos empíricos y un modelo metodológico que pueden ser aplicados a otras ciudades y contextos.

La evaluación crítica de los estudios revisados revela tanto fortalezas como limitaciones que justifican la necesidad de esta investigación. Mientras que trabajos como el de Di Ciommo et al. (2014) y Narayan & Cassidy (2001) han ofrecido marcos sólidos para la medición del capital social y su impacto en la movilidad, estos estudios a menudo se basan en datos agregados y no siempre consideran la experiencia de viaje individual ni las dinámicas específicas del entorno urbano en transformación.

Este estudio propone una medición del capital social desde un enfoque asociado exclusivamente al viaje, integrándolo posteriormente en un modelo de elección modal. La metodología se centrará en variables relacionadas con la accesibilidad del transporte como eje fundamental que describe un espacio de aumento de relaciones sociales. Utilizando datos detallados de la encuesta de movilidad de Bogotá 2019, se permitirá una comprensión más profunda y matizada de cómo el capital social y la elección modal se influyen mutuamente en un contexto urbano específico.

Por lo tanto, este estudio no solo es relevante desde una perspectiva académica, sino también crucial para el diseño de políticas públicas que promuevan comunidades urbanas más cohesionadas y sostenibles. Además, se postula en este documento una relación bidireccional entre el capital social y la elección modal de transporte, abriendo nuevas

perspectivas para investigaciones futuras en transporte y planificación urbana desde una visión integral.

Este enfoque metodológico también se apoya en conceptos teóricos robustos del capital social desarrollados por Bourdieu y Putnam, que consideran no solo las dimensiones económicas y culturales, sino también el valor de las interacciones sociales y las redes comunitarias. La caracterización de las preferencias de transporte y el entorno social se basa en un análisis detallado de variables como tiempos de espera, tiempos de acceso, costos adicionales, etapas de viaje y experiencias negativas, que son fundamentales para comprender la accesibilidad y su impacto en el capital social. La utilización de técnicas como el Análisis de Componentes Principales (PCA) y un modelo de elección de máxima verosimilitud, permiten explorar de manera exhaustiva las elecciones individuales en relación con características de viaje y accesibilidad, proporcionando una comprensión integral de cómo las transformaciones urbanas, como el proyecto del corredor verde de la carrera séptima, influyen en la movilidad y el capital social.

En resumen, la justificación de este estudio se basa en su capacidad para proporcionar una visión holística de la relación entre movilidad urbana y capital social, utilizando métodos avanzados y datos empíricos detallados. Este enfoque no solo contribuye al conocimiento académico, sino que también tiene implicaciones prácticas para la planificación urbana y las políticas públicas, promoviendo comunidades urbanas más cohesionadas, accesibles y sostenibles.

1. Capital social

Para comprender las interacciones sociales y la estructura del espacio, el concepto de capital social se presenta como un elemento central que comprende las dinámicas que configuran tanto las relaciones individuales como el desarrollo colectivo. En este capítulo se explorarán las dimensiones fundamentales del capital social, desde su definición en el espacio social hasta su impacto en la movilidad, exponiendo así la importancia de esta concepción en la construcción de comunidades resilientes y sostenibles.

El concepto de capital social se desarrolla desde los años 80, gracias al aporte de autores como Bourdieu. Estos estudios diferentes dimensiones desde las cuales se puede llegar a medir el capital de una persona o una comunidad, y desde donde se pueden entender aspectos inherentes a esta noción, como por ejemplo las desigualdades en la sociedad.

Para una mejor comprensión del capital social, es importante explorar el concepto de espacio social según Bourdieu. Aquí, las características y condiciones particulares de los individuos hacen parte del espacio social. Por otro lado, el territorio donde habitan y se sitúan parte del espacio físico. En el espacio social se encuentran los diferentes capitales que posee un sujeto como el económico, social y cultural entre otros; estos capitales determinan el lugar donde se sitúa el sujeto dentro de este plano social con relación a los otros. Las relaciones que se desarrollan en el espacio social se materializan en el espacio físico, influyendo en la disposición del territorio (Bourdieu P. , 1999).

Estas dimensiones planteadas se pueden resumir así:

- Capital económico, referente a todo lo que se pueda monetizar.
- Capital cultural, que hace referencia a todo el acceso a la educación que se tenga y la capacidad de interiorizar conocimiento.
- Capital simbólico, el nivel de reconocimiento e importancia en una comunidad.
- Capital social, que lo define como “el total de recursos reales o potenciales que están vinculados a la posesión de un producto duradero en una relación de redes más o menos institucionalizadas de conocimiento mutuo y reconocimiento” (Bourdieu, 1986).

La importancia del capital social en el desarrollo local y espacial presenta las relaciones sociales como un medio para obtener beneficios (recursos) medibles. Tal como lo define Putman en el año 2001: “El capital social se refiere a las características de la organización

social como redes, normas de confianza social que facilitan la coordinación y cooperación para beneficio mutuo”.

El Espacio Social, según Bourdieu, está definido a partir de la organización de sus grupos o agentes, considerando la posición que ocupan en las distribuciones estadísticas basadas en los dos principios de diferenciación: el capital económico y el capital cultural. Las interacciones entre grupos sociales y las actividades que desde allí se generen condicionan la materia del Espacio. (Bourdieu P. , "Capital Cultural, Escuela y Espacio Social", 1998).

La separación de agentes sociales va ligada a la construcción del Espacio Social. Un proceso de distanciamiento social afecta negativamente el desarrollo mientras una mayor proximidad entre grupos, sugiere un mejor desempeño. La distribución de los agentes está determinada por dos dimensiones: según el volumen global de capital y según la estructura de su capital. (Bourdieu P. , 1999).

El concepto de espacio social redificado entra en el contexto, describiendo la distribución en el espacio físico de bienes, servicios y de agentes individuales o grupos localizados físicamente y provistos de oportunidades, más o menos efectivas, de apropiación de esos bienes (Bourdieu P. , 1999).

Las definiciones anteriores conducen a un concepto crucial: el Habitus. Este entrelaza las condiciones de vida de los agentes sociales con el esquema de toma de decisiones y estilo de vida. aparece como la concepción que reúne las condiciones de vida de los agentes sociales y las enlaza con su esquema de toma de decisiones y en general con su estilo de vida. Condicionado por factores sociales, el Habitus asigna un conjunto sistemático de bienes y propiedades, unidos por una afinidad de estilo. (Bourdieu P. , Capital Cultural, Escuela y Espacio Social, 1998). El ambiente, el espacio físico, las propiedades y las interacciones entre agentes sociales (incluyendo la distribución) proporcionan una afinidad de estilo a los grupos sociales, un manejo de situaciones y un diseño del Espacio Social distinto hacia otro agente con características diferenciales.

En resumen, el espacio social concebido como el espacio de interacción que se desarrolla dentro del espacio físico está ligado a las condiciones que pueden facilitar u obstaculizar el capital social. Es importante entender que el habitus, ligado a estas condiciones de acceso a los servicios y bienes, condiciona la calidad de vida y contribuye al capital social de la comunidad. Vale entonces resaltar desde la visión urbana, que la correcta adecuación del espacio físico fomentará el crecimiento del capital social al generar espacios de interacción y conexiones entre la comunidad, desde la movilidad, particularmente en modos de transporte público.

1.1 Mediciones del capital social

Para explorar las diversas aproximaciones en la medición del capital social a través de la revisión literaria, se presentan siete grupos de autores y sus investigaciones:

Brehm and Rahn

Miden el capital social mediante tres variables endógenas: compromiso cívico, confianza interpersonal, y confianza en el gobierno. Añaden una variable exógena basada en la satisfacción de vida. Estas variables fueron integradas en la Encuesta Social General (General Social Survey, GSS) entre 1975 y 1994 en Estados Unidos.

Narayan & Cassidy

Realizaron la Encuesta Global de Capital Social (GSCS), buscando medir la calidad de las interacciones con entes gubernamentales y categorizando en siete dimensiones la comprensión del capital social.

Li et al

Presenta una clasificación tridimensional del capital social, desglosando aspectos clave. En primer lugar, aborda el "Apego al Vecindario", evaluando la conexión emocional y práctica de las personas con su entorno. El segundo aspecto, "Red Social", mide la interacción más allá del círculo familiar, enfocándose en "vínculos fuertes". El tercer componente, "Participación Cívica", abarca la membresía en organizaciones y actividades comunitarias. La estandarización de los puntajes facilita la comparabilidad, permitiendo analizar determinantes sociales e impactos en la confianza social.

Owen and Videras

Utilizan datos de la Encuesta General Social (GSS) y presentan evidencia consistente con la hipótesis de que mayores ingresos influyen en la acumulación de capital social debido al mayor costo de oportunidad del tiempo.

Di Ciommo et al

Plantean que las dimensiones de la asequibilidad monetaria y la falta de tiempo se relacionan con la exclusión social, afectando tanto la calidad de vida como la equidad y cohesión social.

Víctor Cantillo-García et al:

La investigación se centra en determinar los efectos del capital social en el comportamiento de usuarios de transporte, específicamente en la elección de la línea de cable aéreo TransMiCable en Bogotá. Se estiman modelos de elección discreta incorporando la variable latente "capital social". (Cantillo García, Guzmán, & Higuera Mendieta, 2020)

En resumen, se pueden extraer las siguientes ideas:

- El capital social como una medición del compromiso cívico de los ciudadanos, en concordancia con la confianza hacia los demás y la gobernabilidad. Todas enmarcadas en el contexto de la satisfacción de vida, entendida como un adecuado diseño del espacio público, accesibilidad al transporte, vivienda asequible, infraestructura y servicios, sostenibilidad Ambiental y participación comunitaria
- Existen dimensionalidades en el capital social a partir de los espacios de interacción y los niveles de conexiones entre ciudadanos y entes gubernamentales.
- Se refuerza la participación cívica, como un fuerte influyente en el capital social, ya que permite las interacciones personales y con entes tomadores de decisión para llegar obtener beneficios mutuos. De aquí se extrae la idea de la generación de espacios físicos para interacción, como lo puede ser el transporte público.
- En el estudio se presenta la hipótesis inicial que individuos con mayores ingresos influyen en la acumulación de capital social debido a un mayor costo de oportunidad del tiempo. Es posible extraer entonces que si se influye en los tiempos de viaje el capital social aumentará.
- La exclusión social es un fenómeno que abarca la privación de acceso a recursos, derechos, bienes y servicios (transporte), lo que limita la capacidad de participar en relaciones sociales y actividades diarias. Este proceso genera desigualdades económicas, sociales, culturales y políticas entre diversos grupos de población. De esta idea se puede extraer que la accesibilidad al transporte inicie en la generación del capital social.

1.2 Dimensionalidad del Capital social

Capital social individual de acuerdo con Bourdieu

El concepto de capital social abarca dimensiones tanto individuales como comunitarias, fundamentales para entender las dinámicas sociales y económicas. A nivel individual, el capital social se refiere a las redes interpersonales que un individuo posee, las cuales implican relaciones de confianza, reciprocidad y apoyo mutuo. Estas conexiones proporcionan acceso a recursos tangibles e intangibles, como empleos, información y apoyo emocional, y pueden ser consideradas activos valiosos en el contexto social.

La dimensión individual del capital social se enfoca en las relaciones personales, las redes y las conexiones que un individuo tiene en su entorno. Estas relaciones pueden ser familiares, amistosas, laborales o comunitarias, y se basan en la confianza, la reciprocidad y el apoyo mutuo. En el contexto del capital social, estas relaciones se consideran activos valiosos. Las personas con fuertes lazos sociales suelen tener acceso a recursos y oportunidades que les son proporcionados por sus conexiones. Por ejemplo, alguien con una amplia red de contactos profesionales puede obtener información sobre empleos vacantes o nuevas oportunidades de negocios. Además, estas relaciones pueden actuar

como sistemas de apoyo emocional y social en momentos de necesidad, creando un sentido de pertenencia y seguridad.

Capital social comunitario, de acuerdo con Putman

A nivel comunitario, el capital social se manifiesta como la cohesión y colaboración dentro de un grupo o comunidad. Cuando los individuos dentro de una comunidad mantienen relaciones positivas y confiables entre sí, se fortalece la confianza mutua y se crea un sentido de identidad y pertenencia. Esta cohesión facilita la cooperación y la colaboración para alcanzar objetivos comunes, promoviendo un ambiente propicio para el desarrollo socioeconómico.

La dimensión comunitaria del capital social se refiere a la cohesión y la colaboración dentro de una comunidad o grupo más amplio. Cuando los individuos dentro de una comunidad tienen relaciones sólidas y positivas entre sí, la confianza mutua se fortalece y se fomenta un sentido de identidad y pertenencia. Este nivel de cohesión social facilita la cooperación y el trabajo conjunto para lograr objetivos comunes. En comunidades con alto capital social, las personas tienden a confiar unas en otras, lo que facilita la comunicación abierta y la resolución de conflictos de manera colaborativa. Además, un alto nivel de capital social comunitario también puede conducir a una mayor participación cívica y política, ya que las personas se sienten más inclinadas a colaborar en proyectos y actividades que beneficien a la comunidad en su conjunto.

La relación entre el capital social individual y comunitario es bidireccional y se refuerzan mutuamente. Un individuo con un fuerte capital social (relaciones personales sólidas y redes extensas) puede contribuir significativamente al capital social de la comunidad. Al participar activamente en la comunidad y compartir recursos, conocimientos y oportunidades a través de sus conexiones, este individuo ayuda a fortalecer los lazos dentro de la comunidad en su conjunto. Por otro lado, un alto capital social comunitario crea un entorno propicio para el desarrollo de fuertes conexiones personales. Cuando las personas confían en su comunidad y se sienten seguras, están más inclinadas a establecer relaciones personales sólidas y a participar activamente en actividades sociales y económicas.

En resumen, el capital social es una fuerza poderosa que impulsa el desarrollo individual y comunitario. A nivel individual, las relaciones personales y las conexiones pueden generar beneficios tangibles e intangibles para un individuo. A nivel comunitario, un alto nivel de cohesión social y colaboración puede conducir a una comunidad más fuerte, resiliente y próspera. La interacción entre estas dos dimensiones es fundamental para el crecimiento y el bienestar tanto de las personas como de las comunidades en su conjunto.

Es crucial destacar la interconexión entre el capital social individual y comunitario. Un individuo con un alto capital social, gracias a sus relaciones personales sólidas y extensas, puede contribuir significativamente al capital social comunitario. La participación en la comunidad, junto con el intercambio de recursos y conocimientos a través de estas conexiones, fortalece los lazos sociales y, por ende, el capital social de la comunidad en

su conjunto. A su vez, un alto nivel de capital social comunitario crea un ambiente propicio para el desarrollo de conexiones personales sólidas. Cuando existe confianza en la comunidad y se promueve un sentido de seguridad, los individuos están más inclinados a establecer relaciones personales profundas y a participar activamente en actividades sociales y económicas.

En resumen, el capital social, tanto a nivel individual como comunitario, juega un papel fundamental en la promoción del desarrollo humano y social. Estas conexiones sociales no solo son recursos valiosos para los individuos en términos de oportunidades y apoyo, sino que también constituyen la base sobre la cual se construyen comunidades fuertes y resilientes, capaces de enfrentar desafíos y prosperar en conjunto.

1.3 Relación capital social, movilidad, transformaciones urbanas y accesibilidad al transporte público

El territorio se estructura en función de la presencia de grupos específicos y la manera en que sus capitales contribuyen a la consolidación de dicho territorio. Surge la pregunta crucial: ¿los individuos pueden tomar decisiones autónomas sobre su lugar de residencia, o son las lógicas históricamente configuradas de uso y consumo las que determinan esta elección? Explorar las motivaciones detrás de la elección del lugar de residencia es fundamental para comprender en qué medida un actor tiene poder de decisión sobre el acceso a los recursos del territorio y cómo las lógicas de mercado y diversas estructuras influyen en "[...] la estructura de opciones y disposiciones para la acción en cuyo marco las familias 'juegan el juego' en el territorio" (Di Virgilio, 2011)

Entendiendo este concepto, se procede a conectar el mismo con la forma en que la movilidad puede relacionarse con cambios en el capital social. La multiplicidad de decisiones que puede tomar un individuo para desplazarse en un entorno físico se correlaciona con su estilo de vida medido entre su nivel de capital. Por lo anterior, se puede afirmar que dependiendo de la red social de cada individuo se determina la escogencia del uso del transporte público.

La selección del modo de transporte se define por los atributos de las alternativas disponibles, el contexto del viaje y del viajero, incluido el capital social (Ortúzar & Willumsen) De aquí se desprenden los tipos de movilidad que se pueden presentar tal como lo expone (Gutierrez, 2012):

- Movilidad concebida: opciones de viaje concebidas por la persona en contexto social (conjunto de representaciones del sujeto, que incumben el mundo conocido).
- Movilidad efectiva: opciones de viaje que la persona en contexto social considera posibles para sí.

- Movilidad realizada: opciones de viaje que la persona en contexto social selecciona y realiza.

Las decisiones económicas de los consumidores (es decir, la elección del uso del transporte público) se basa no solo en el interés propio del individuo, sino que también están influenciadas por sus relaciones e interacciones sociales, que pueden medirse en forma de capital social (Robison et al., 2012).

En resumen, existe un consenso en que las mejoras en el transporte facilitan las interacciones sociales y promueven la inclusión social al brindar una mejor accesibilidad a las oportunidades (Östh et al., 2018; Stanley et al., 2010). Aumentar los viajes podría promover el sentido de comunidad, mientras que las políticas que restringen la demanda reducen el número de viajes que afectan el capital social. (Stanley & Hensher, Mobility, Social Capital and Sense of Community: What Value? Urban Studies, 49(16), 3595–3609, 2012)

Aunque la literatura aborda el efecto de la infraestructura de movilidad en el capital social, son menos comunes los estudios que se centran en la influencia del capital social en el comportamiento de viaje. Esto resulta extraño, ya que ambas direcciones tienen influencias interrelacionadas, como se presenta en el siguiente esquema:

Diagrama 1-1: Relación de capital social y elecciones del uso de EPUM. Elaboración propia



La Universidad de los Andes (Cantillo García, Guzmán, & Higuera Mendieta, 2020) presentó un estudio de la influencia del capital social en la elección del metro cable de Bogotá. De estos estudios se encontró que los tipos de capital social pueden tener

diferentes efectos en el comportamiento del viaje. Esto se presenta a través de un modelo de elección discreta teniendo como variable latente el capital social en función de la utilidad de la alternativa.

1.4 Transporte público como dinamizador del capital social individual

El capital social comunitario se construye a partir de una compleja interacción de diversas condiciones y factores en una comunidad. Elementos como las condiciones económicas, el acceso a la educación, el diseño del espacio público, la participación ciudadana, la historia de la creación de la comunidad, los usos del suelo y las condiciones de movilidad son cruciales en este proceso.

En este contexto, la movilidad, especialmente en cuanto al acceso al transporte público, juega un papel fundamental. La elección del modo de transporte ya sea público o individual, no solo refleja las condiciones económicas del individuo, sino también su capacidad para participar en la vida comunitaria. Cuando el transporte público es eficiente, accesible y seguro, facilita la interacción del individuo con su entorno. Al permitir la movilidad, crea oportunidades para la participación en el espacio público, lo que a su vez genera un incremento en el capital social.

Este aumento en el capital social, dimensionado a nivel individual se traduce en un efecto positivo en el capital social comunitario. Las interacciones sociales fortalecidas durante el viaje en transporte público se suman a las conexiones ya existentes del individuo, contribuyendo así al tejido social de la comunidad. Esta dinámica establece una relación bidireccional: un mayor capital social individual fomenta la preferencia a utilizar el transporte público, y a su vez, el uso del transporte público contribuye a un aumento del capital social comunitario.

Cuando el transporte público es eficaz, no solo mejora la movilidad, sino que también actúa como un dinamizador del capital social. Al facilitar la interacción social y la participación en el espacio público, el transporte público genera un delta positivo en el capital social. Este aumento puede fortalecer aún más los lazos comunitarios y fomentar una mayor cohesión social.

En resumen, la relación entre el transporte público, el capital social individual y comunitario es intrínseca y compleja. Un transporte público eficiente y accesible no solo mejora la movilidad, sino que también contribuye significativamente al fortalecimiento y al desarrollo de comunidades más cohesionadas y participativas. La inversión en sistemas de transporte público de calidad no solo tiene beneficios económicos y ambientales, sino que también juega un papel crucial en la construcción y el mantenimiento del capital social en las comunidades urbanas.

2.Propuesta metodológica de medición de capital social asociado al viaje

A partir de la revisión de literatura realizada en el capítulo anterior, se espera plantear en este capítulo la propuesta metodológica de la medición de capital social. La investigación se centra en la conexión entre las transformaciones urbana, la integración de modalidades de transporte y la construcción de ciudades saludables y sostenibles. Se busca entender cómo el capital social impacta las elecciones modales de transporte, especialmente en el contexto del proyecto del corredor verde de la carrera séptima en Chapinero, Bogotá.

Una manera fundamental de anticipar el comportamiento de elección en una determinada zona es a través de modelos de elección discreta. Estos modelos resultan particularmente valiosos al llevar a cabo transformaciones urbanas que incorporan modos de transporte adicionales. Aunque los modelos predictivos suelen centrarse en el costo y el tiempo de viaje, existe la posibilidad de integrar otros factores que afectan las elecciones de transporte, como el contexto social de los individuos, la propensión a las relaciones sociales y la cohesión comunitaria basada en la confianza. Estas características pueden resumirse en el concepto de capital social.

El desafío radicaba en cómo calcular el capital social, y la comprensión de su dimensionalidad reveló impulsores clave, entre ellos, los viajes y la influencia del transporte público. Este último puede potenciar el capital social al facilitar la interacción entre usuarios, un aspecto que se optimiza mediante un servicio de transporte público eficiente, tiempos de espera y acceso reducidos, una experiencia de viaje positiva y costos adicionales mínimos. En resumen, la adecuada accesibilidad que proporciona el transporte público contribuye al capital social individual de cada individuo.

Es lógico suponer que, al influir en el capital social individual, cada una de estas relaciones se sumará al capital social comunitario, generando una comunidad más cohesionada capaz de colaborar para lograr beneficios compartidos. Esta bidireccionalidad implica que el capital social inicial puede motivar la elección del transporte público, mientras que el propio viaje contribuye al crecimiento del capital social individual y comunitario. Esto, a su vez, incentiva la continuación del uso del transporte público y respalda la participación ciudadana, facilitando la inclusión de espacios de interacción en las transformaciones urbanas.

La metodología se basa entonces, en un modelo de elección discreta, explorando la complejidad de las elecciones individuales considerando características de viaje, accesibilidad al transporte público, costo, tiempo y experiencia. Se postula una relación bidireccional entre el capital social y la elección modal de transporte, redefiniendo la perspectiva cuantitativa tradicional para incluir la influencia del capital social en las decisiones de movilidad.

Ahora bien, dado que el objetivo principal de este trabajo de profundización es establecer un marco de medición y estimación de capital social a partir de la elección modal de transporte en la zona de influencia del corredor verde, la investigación se desarrolla mediante la caracterización de preferencias y entorno social, el análisis y estimación del capital social mediante un modelo de elección discreta, y la propuesta de una línea base de volumen de capital social.

El capital social asociado al viaje es entonces un dinamizador del capital social del individuo que toma la elección de viaje, este valor de capital social al entenderse dentro del contexto del viaje tomará como premisa que el capital social individual solo se verá afectado dentro del transporte público al permitir espacios de interacción. Entendiendo esto, se tomarán características del viaje que inciden en el capital social, que luego de diferentes deserciones teóricas se proyectará al término de accesibilidad, esto debido a que, a mayor accesibilidad al transporte público, se facilitarán cambios en el capital social en términos de interacción, reducción de tiempos de espera y acceso, la experiencia de los viajes.

En relación con lo anterior el Tiempo de espera, tiempo de acceso, si se generó un costo adicional y la experiencia del viaje, son datos de la encuesta de movilidad que puede brindar una aproximación de la accesibilidad al transporte público que facilitará o será barrera del capital social lo cual convierte al viaje en transporte público como un catalizador del capital social individual. Es necesario entonces encontrar un índice estandarizado que logre expresar estas características de accesibilidad en función de capital social.

Asumiendo que cada individuo está constantemente buscando maximizar su utilidad, tomando en cuenta el costo y el tiempo asociado a la disponibilidad de oferta que tenga en su entorno y que para el caso de estudio se toma como transporte público y transporte privado.

Es preciso entonces integrar el valor de capital social asociado al viaje, en la ecuación de verosimilitud, para interpretar si se incide o no en la probabilidad de elección de transporte.

Estos resultados presentarán un contraste entre los resultados y aproximaciones de las probabilidades de elección y la elección modal real de cada viaje

De encontrar que el capital social incide en la elección modal del transporte público, se sustentará la idea del viaje como un dinamizador del capital social, es decir, que al final del viaje se generará un delta de capital social. Así pues, se podría plantear, conectando con la teoría, una relación bidireccional entre el capital social y la elección modal de transporte.

Procedimiento Paso a Paso:

1. Caracterización de Capital Social: Identificación detallada de variables influyentes en el capital social.
2. Contextualización del Proyecto Corredor Verde: Análisis de generalidades para comprender su impacto potencial en el capital social.
3. Escalado Territorial: Exploración y análisis en una escala territorial más amplia para comprender las dinámicas sociales.
4. Línea Base de Capital Social: Análisis detallado de componentes principales basado en la accesibilidad.
5. Índice Sintético de Capital Social: Desarrollo de un índice que sintetice la complejidad del capital social en la ZAT del área de estudio.
6. Modelo de Elección Discreta: Comparación exhaustiva de dos modelos, uno con capital social y otro sin (calculado en el paso anterior).

2.1 Modelo de elección discreta para integrar el capital social en las decisiones de viaje

Con el objetivo de realizar una aproximación metodológica de la incidencia del capital social asociado a los viajes, en la elección individual discreta entre el transporte público y privado, mutuamente excluyentes, se adoptó modelo de elección discreta de máxima verosimilitud.

Este modelo, presenta dos opciones, cada una asocia una función de utilidad que representa la preferencia de un individuo por cualquiera de las elecciones disponibles, que pueden estar influenciadas por diferentes atributos como lo es el tiempo y el costo del viaje. La diferencia entre estos modelos radica en que uno contiene el índice sintético de capital social calculado en el índice anterior y el otro no. Es importante resaltar que el modelo asume que cada individuo elige dentro de sus opciones la que maximice su utilidad, bajo esa premisa, el objetivo del modelo es encontrar los valores de los parámetros que maximizan la probabilidad de calcular las elecciones reales dados los datos disponibles.

Esa suposición se fundamenta en la idea de que cada individuo busca maximiza su utilidad en el escenario global. Luego entonces el modelo maximizar la utilidad del sistema, lo cual tiene que ocurrir cuando cada individuo maximizó su utilidad individual en el sistema.

Este modelo se basa en la función Logit, (Ver Ecuación (2-1))

$$P_{yi=j} = \frac{e^{U_{ij}}}{\sum_{k=1}^j e^{U_{ik}}} \quad (2-1)$$

Para esto se organizaron los datos que alimentarán el modelo de la siguiente manera:

- Tiempo del viaje en transporte privado (PrT, expresado en horas).
- Tiempo del viaje en transporte público (PuT, expresado en horas).
- Costo del viaje en transporte privado (PrT, expresado en miles de pesos).
- Costo del viaje en transporte público (PuT, expresado en miles de pesos).
- Nivel de capital social (expresado de 0 a 1, conforme se explicó en el numeral 2.4).
- Elección del transporte privado (PrT, expresada con valores 0 o 1, según la modalidad elegida para el viaje).
- Elección del transporte público (PuT, expresada con valores 0 o 1, según la modalidad elegida para el viaje).

2.2 Caracterización Capital Social: Escala territorial- Proyecto corredor verde carrera séptima

Con el objetivo de implementar la metodología en una ubicación estratégica de la ciudad de Bogotá, se tomó el proyecto de transformación urbana del corredor verde de la carrera séptima, entre las calles 34 y 100. Esta zona de estudio contiene el barrio de Chapinero, que posee una gran representatividad histórica como lugar de origen, destino y transitoria en la ciudad. Dentro de esta se ha generado un capital social interesante por incluir diferentes niveles de capital entre los individuos. A continuación, se presentan algunas características generales del proyecto, que se enfoca en incentivar la movili y mejorar el transporte público mediante el aumento de la oferta disponible y adaptando el transporte público a estas necesidades.

El proyecto del Corredor Verde de la Séptima en Bogotá es un ambicioso plan urbano que buscaba transformar una de las arterias viales más importantes de la ciudad en un espacio más amigable para los peatones, ciclistas y usuarios del transporte público. La Séptima es una avenida principal que atraviesa la ciudad de sur a norte y es conocida por su alto volumen de tráfico vehicular.

El proyecto del Corredor Verde de la Séptima se basa en la idea de crear un espacio público sostenible y accesible para todos los ciudadanos, con énfasis en la movilidad activa y el transporte público. Entre las principales características y objetivos del proyecto están:

- **Ampliación de Aceras:** Se planeaba ensanchar las aceras a lo largo de la avenida para proporcionar más espacio para los peatones. Esto no solo mejora la seguridad para los caminantes, sino que también crea oportunidades para áreas verdes, bancos y otras instalaciones públicas.
- **Ciclovías:** Se contemplaba la construcción de ciclovías segregadas para fomentar el uso de la bicicleta como medio de transporte. Esto no solo ayuda a reducir la congestión vehicular, sino que también promueve un estilo de vida más saludable y activo.
- **Transporte Público:** Se buscaba mejorar el sistema de transporte público a lo largo de la Séptima, con la posibilidad de implementar carriles exclusivos para buses o sistemas de transporte masivo.
- **Espacios Verdes:** El proyecto incluía la creación de áreas verdes y parques a lo largo de la avenida, proporcionando lugares de descanso y recreación para los ciudadanos.

- Integración Social: Se esperaba que el proyecto ayudara a reducir las barreras sociales y económicas en la ciudad, al proporcionar un espacio público accesible para todos los estratos sociales.
- Revitalización Comercial: La mejora del entorno urbano también se traduciría en una revitalización de las áreas comerciales a lo largo de la Séptima, beneficiando a los negocios locales y atrayendo a más visitantes.

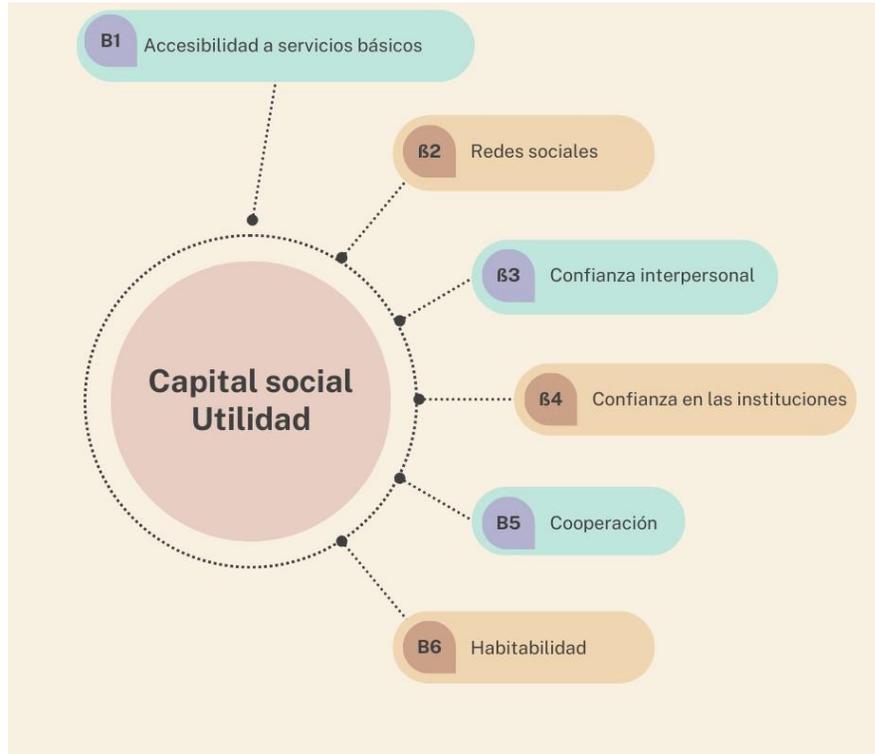
Imagen 2-1: Proyecto corredor verde de la carrera séptima en Bogotá. Tomada de <https://septimaverde.gov.co/concepto>



La delimitación de la escala territorial se fundamenta en el trazado del proyecto del corredor verde de la carrera 7ma en Bogotá, específicamente abarcando las dos primeras fases comprendidas desde la calle 24 hasta la calle 100. Para establecer los límites geográficos precisos, se extendió 500 metros hacia el oriente y 250 metros hacia el occidente desde el eje central de la carrera séptima.

2.3 Caracterización Capital Social: Análisis de indicadores área de estudio

En esta sección, se categorizarán los indicadores que afectan el capital social, enmarcados en el marco conceptual de habitabilidad, que incluye accesibilidad, desarrollo económico, sostenibilidad ambiental, bienestar (salud mental y física), seguridad pública y cohesión social. Este ejercicio tiene como propósito enmarcar una noción de capital social en la zona de estudio, basada en un nivel de confianza colectiva, evidenciado a partir de la exploración de la literatura sobre habitabilidad y las diferentes nociones de capital social.

Diagrama 2-1: Componentes que definen el capital social. Elaboración propia.

A partir de lo anterior, se define la relación del capital social sobre las preferencias que influyen en las elecciones de uso del transporte público, asociando características relacionadas con accesibilidad. Para esto, se realizó un análisis de selección de variables a partir de un taller con la comunidad tomadora de decisiones en Bogotá, la comunidad académica y líderes sociales que habitan cerca de la carrera séptima. El taller, desarrollado en febrero de 2023 en la Universidad de los Andes junto con la Universidad Nacional de Colombia, se enmarcó en el proyecto de investigación BPIN 2021000100275 "Desarrollo y diseño de métodos de inteligencia artificial y ciencia ciudadana para evaluar las transformaciones urbanas con el fin de tener una ciudad más sostenible, accesible y habitable en Bogotá". Utilizando la metodología Group Modelling Building, se crearon diagramas causales a partir de las opiniones de los participantes, identificando los puntos influenciadores de habitabilidad y cómo el corredor verde en la carrera séptima.

En el taller se encontraron indicadores asociados al uso de transporte, destacando los tiempos de viaje y la percepción de calidad del servicio. A partir de esto, se decidió extraer estos datos de la encuesta de movilidad 2019 con el fin de expresar un capital social asociado al viaje, entendiendo el viaje como un dinamizador del capital social.

Justificación Teórica de la Relación entre Accesibilidad y Capital Social

La accesibilidad, entendida como la facilidad con la que las personas pueden alcanzar oportunidades y servicios, juega un papel fundamental en la formación y el fortalecimiento del capital social. La literatura sugiere que una mejor accesibilidad al transporte público

facilita la participación social y el acceso a actividades esenciales, como el empleo, la educación y la recreación, las cuales son cruciales para el desarrollo del capital social (Narayan & Cassidy, 2001; Di Ciommo et al., 2014).

En este contexto, un sistema de transporte público accesible no solo reduce las barreras físicas y económicas para la movilidad, sino que también promueve interacciones sociales y la cohesión comunitaria. Estas interacciones fortalecen las redes sociales y la confianza entre los individuos, componentes esenciales del capital social. Así, la accesibilidad se convierte en un indicador clave para medir el capital social, ya que facilita el encuentro y la participación en la vida comunitaria.

Relación entre Movilidad y Capital Social

La movilidad, especialmente a través del transporte público, es un medio a través del cual se realizan y fortalecen las interacciones sociales. Los viajes diarios en transporte público no solo son desplazamientos físicos, sino también oportunidades para la interacción social y la formación de redes (Putnam, 2000). La capacidad de las personas para moverse de manera eficiente y asequible dentro de la ciudad está directamente relacionada con su capacidad para mantener y desarrollar relaciones sociales, participar en actividades comunitarias y acceder a recursos económicos y sociales.

En este sentido, el transporte público actúa como un facilitador de capital social. La accesibilidad al transporte público permite a las personas participar en actividades que promueven el bienestar social y económico, lo cual es fundamental para una sociedad cohesionada y resiliente. Esta relación bidireccional entre movilidad y capital social sugiere que no solo la accesibilidad al transporte público afecta el capital social, sino que un mayor capital social puede influir en las preferencias y comportamientos de movilidad, creando un ciclo virtuoso.

En conclusión, esta caracterización del capital social y su relación con la accesibilidad en el área de estudio permite una comprensión más profunda y matizada de cómo la movilidad y el capital social se influyen mutuamente en un contexto urbano específico. Este enfoque no solo es relevante desde una perspectiva académica, sino también crucial para el diseño de políticas públicas que promuevan comunidades urbanas más cohesionadas y sostenibles.

Ahora bien, es importante señalar la decisión de enfocarse exclusivamente en el transporte público en este modelo de estudio, se basa en la necesidad de caracterizar detalladamente las preferencias y el entorno social de las personas en relación con su elección de transporte, especialmente en el contexto del corredor verde de la carrera 7ma. Esto aplica para transporte público y privado. Sin embargo, es importante señalar que la movilidad activa, como caminar y andar en bicicleta, también se considera dentro de las variables de tiempos y etapas relacionadas con el transporte público.

Este enfoque metodológico permite explorar cómo los tiempos de acceso y espera, que son factores críticos en el transporte público, pueden influir en las interacciones sociales y

la formación de capital social durante los desplazamientos diarios. Al incluir estos elementos en el análisis, se puede capturar de manera más precisa cómo las condiciones de accesibilidad y las preferencias individuales afectan el modo de transporte elegido y, por ende, el capital social asociado a cada modalidad.

Además, la movilidad activa, aunque no se integre explícitamente en el modelo de elección discreta, sigue siendo una parte relevante del contexto urbano y puede influir indirectamente en las decisiones de movilidad y en la cohesión social. Al entender cómo estas modalidades interactúan con el transporte público, se obtiene una visión más holística de cómo las políticas de transporte pueden mejorar la accesibilidad urbana y fomentar comunidades más cohesionadas.

En resumen, al centrarse en el transporte público y considerar los elementos relevantes de la movilidad activa dentro del análisis de tiempos y etapas del transporte privado, se cumple con el objetivo de caracterizar las preferencias y el entorno social relacionados con el uso del transporte en el área de influencia del corredor verde de la carrera 7ma. Esto proporciona una base sólida para comprender el impacto del transporte en el capital social urbano y orientar adecuadamente las políticas públicas hacia una movilidad más inclusiva y sostenible.

2.4 Estimación del Capital Social Asociado al Viaje desde la Accesibilidad: una medición multidimensional.

Para la aproximación a la medición del capital social asociado al viaje, se partió con la selección de variables fundamentales extraídas de la encuesta de movilidad 2019 basado en el análisis de indicadores mostrados en el numeral anterior. Estas variables, fueron asemejadas al concepto de accesibilidad al transporte, tema estudiado por diferentes investigadores, pero que en especial atención se centró este trabajo en la tesis de Maestría de (Fernández, 2023) titulada tesis titulada “Metodología de evaluación multidimensional de la accesibilidad a través del transporte público como expresión de la vulnerabilidad social en Bogotá” (Fernández, 2023). Gracias a esto, se seleccionan las variables relacionadas con tiempos de espera, costos adicionales y experiencias de viaje, que se sometieron a un análisis de correlación para comprender sus interrelaciones.

Esta metodología fue adoptada para capital social asociado al viaje, considerando que la accesibilidad al transporte público está fuertemente ligado a una variación en el capital social. Un sistema de transporte público accesible facilita la participación social y fortalece las conexiones sociales al mejorar el acceso al empleo, educación y actividades que satisfacen las necesidades individuales y comunitarias, fortaleciendo el tejido y la cohesión sociales, que son características estructurales del capital social.

La metodología planteada por (Fernández, 2023) es una propuesta de medición de accesibilidad más amplia a la tradicionalmente trabajada por investigadores como Hansen (Hansen, 1959) que plantea que los individuos se desplazan buscando el menor esfuerzo y costo posible. Sin embargo, en ocasiones lo individuos en la mayoría de sus

desplazamientos tienen la obligación de desplazarse incluyendo diferentes variables del entorno, en ese sentido, la accesibilidad es comprendida como la conexión entre uso del suelo, tiempo, el individuo y el sistema de transporte utilizado (Geurs and Wee, 2011), para el caso de este análisis es el transporte público.

La accesibilidad es entonces entendida no como una medida individual sino colectiva, influenciada por las condiciones de bienestar del territorio y espacios de interacción, es en este punto donde se relaciona el capital social, entendido como una medida de cohesión social facilitada por las características del entorno donde la comunidad ejerce sus actividades para satisfacer sus necesidades colectivas.

La accesibilidad se configura como una métrica crucial en la evaluación del potencial de un territorio para proporcionar acceso efectivo a los principales bienes y servicios que las personas necesitan. Este concepto es fundamentalmente social, ya que su medida no solo depende de factores físicos o geográficos, sino también de las decisiones individuales y colectivas que influyen en la configuración del entorno urbano y rural.

Es importante recordar que un índice como este, junto con metodologías como el Análisis de Componentes Principales (ACP), sirve como instrumento de medición y no como un fin en sí mismo para capturar el capital social inherente a la movilidad y al acceso a servicios. Este enfoque ayuda a contextualizar la accesibilidad dentro de un marco más amplio de desarrollo urbano y social, subrayando su papel crucial en la configuración de entornos que favorezcan la inclusión y la equidad en el acceso a oportunidades para todos los ciudadanos.

Con el propósito de reducir la complejidad de las variables, se implementó un Análisis de Componentes Principales (ACP), identificando dos componentes principales que encapsulan las dimensiones críticas del capital social asociado al viaje.

La transformación de los datos se realizó mediante una combinación lineal de estas componentes, generando un índice sintético. Para expresar este índice en términos de accesibilidad, se llevó a cabo una estandarización de los valores entre 0 y 1.

La visualización de resultados se concretó a través de mapas, destacando valores promedio en zonas específicas y empleando líneas direccionales para representar la relación entre movilidad y construcción del capital social. Estos mapas ofrecen una perspectiva clara de las áreas con mayor dinamismo social, facilitando la identificación de trayectos que influyen significativamente en el capital social individual y comunitario.

En síntesis, esta metodología integradora busca no solo cuantificar el capital social asociado al viaje, sino también visualizar de manera efectiva su impacto en la movilidad y la cohesión social en la región de estudio.

2.5 Preparación de datos para modelo de elección discreta: Estandarización de costos y viajes para un modelo de elección

2.4.1 Costos de viaje

Ahora bien, para realizar un análisis preciso mediante un modelo de elección discreta, es esencial comprender los costos asociados a cada uno de los modos de transporte, específicamente en el caso de estudio que abarca tanto el transporte privado (auto y moto) como el transporte público (Transmilenio, SITP y bus).

En el contexto del transporte público, se ha estandarizado la tarifa a los precios del Transmilenio vigentes en el año 2019, expresados en pesos colombianos.

Por otro lado, en el caso del transporte privado, que incluye autos y motos, se han normalizado los costos por minuto. Este proceso implica considerar los costos de gasolina, teniendo en cuenta el precio por galón del año 2019, junto con el análisis de los consumos promedio para ambos tipos de vehículos privados. Es importante destacar que este enfoque fue validado mediante un informe resumen del BIP y DNP titulado "Evaluación socioeconómica para la primera línea del metro de Bogotá". Esta validación asegura la coherencia y precisión de los costos asignados a los modos de transporte privado.

2.4.2 Tiempos de viaje

Se emplearon diversas estrategias para calcular los tiempos de viaje desconocidos en los datos. En la primera aproximación, se calculó el centroide de cada ZAT dentro del buffer en QGis. Luego, mediante herramientas geométricas, se generó una matriz de distancias aproximadas entre centroides, utilizando tiempos de viaje conocidos para calcular velocidades. Esto permitió determinar las velocidades promedio para el transporte público y privado, y así calcular los tiempos de viaje faltantes para cada modo.

Adicionalmente, se implementó una metodología alternativa utilizando Python y Google Maps. Se extrajeron las coordenadas de los centroides de ZAT y se obtuvo información de tiempos de viaje a través de Google Maps. Este enfoque proporcionó cuatro columnas de aproximaciones a los tiempos de viaje en espacios de información desconocida. Para reducir valores extremos, se generó un listado de cuatro combinaciones, considerando distancias entre centroides y velocidades promedio, así como datos obtenidos de Google Maps.

Estas combinaciones generaron diferencias entre los tiempos de viaje de cada modo, estableciendo una línea de elección. A través de una selección en Excel que identificaba el mínimo valor absoluto de las diferencias, se eligieron y asignaron los valores de tiempo de viaje para cada viaje. Este proceso garantizó la coherencia y precisión en la estimación de tiempos de viaje.

3.Desarrollo de propuesta metodológica

Este capítulo tiene como objetivo principal exponer el desarrollo de la propuesta metodológica planteada en el capítulo anterior, centrada en la medición del capital social asociado al viaje. En este contexto, se abordará la caracterización del capital social, comenzando por la descripción detallada de la escala territorial del proyecto y la selección de variables relevantes que influyen en las decisiones de movilidad urbana.

Además de la preparación de los datos provenientes de la encuesta de movilidad 2019, se incluirá la estandarización de las variables de costo y tiempo, las cuales son fundamentales para el análisis de elección modal. A su vez, se detallará el cálculo del índice sintético de capital social, desarrollado a partir de un análisis riguroso de componentes principales, que permite capturar de manera integrada las dimensiones sociales implicadas en la accesibilidad y calidad del transporte público.

Una vez organizados los datos y establecidos los fundamentos teóricos y metodológicos, se procederá al desarrollo de dos modelos Logit de elección discreta. El primero de estos modelos considerará únicamente las variables de costo y tiempo como predictores, mientras que el segundo incorporará el índice sintético de capital social como una variable adicional. Los resultados detallados de ambos modelos, incluyendo la comparación de sus desempeños predictivos, se presentarán al finalizar este capítulo, destacando la contribución del capital social en la explicación de las decisiones de movilidad urbana.

3.1 Desarrollo caracterización Capital Social: Escala territorial

La identificación y demarcación de la ZAT (Zona de Análisis de Transporte) se realizó mediante la utilización de un buffer en el entorno de la carrera séptima entre las calles 24 y 100, abarcando un área de estudio de 600 metros al oriente y 250 metros al occidente. Este enfoque espacial permite capturar de manera integral el impacto y la influencia directa del proyecto del corredor verde en el entorno circundante, proporcionando un marco geográfico específico para el análisis detallado de las preferencias y elecciones modales de transporte en la comunidad afectada. A continuación, se presentan los resultados de las ZAT obtenidas:

Imagen 3-1: Carrera séptima entre la calle 24 y la calle 39. Elaboración propia.

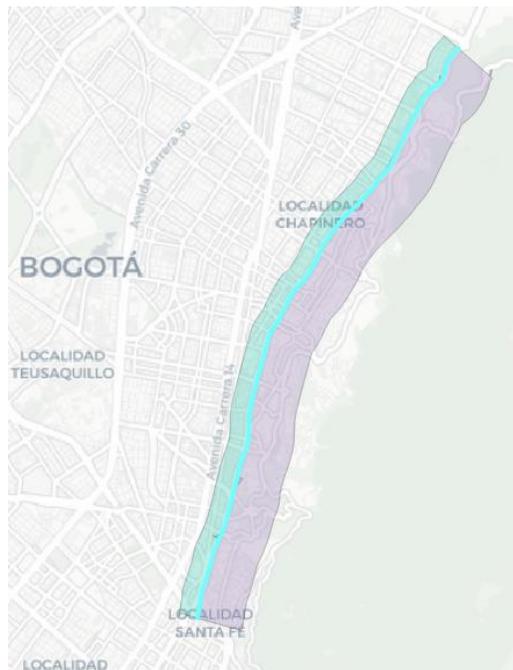
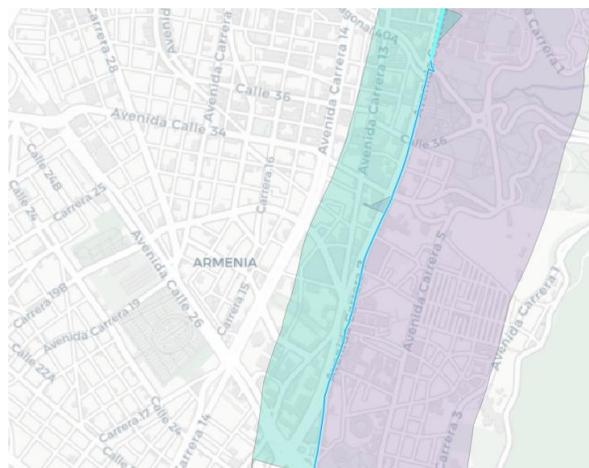


Imagen 3-2: Carrera séptima entre la calle 39 y la calle 100. Elaboración propia.



- **ZAT contenidos dentro del área de influencia**

Imagen 3-3: Buffer con ZAT dentro del área de influencia. Elaboración propia.



Tabla 3-1: Listado de ZAT en el área de estudio. Elaboración propia.

ZAT	UTAM	UPZ	Área
162	UTAM88	88	92610,5519
243	UTAM88	88	130779,536
243	UTAM88	88	130779,536
244	UTAM88	88	499237,164
244	UTAM88	88	499237,164
245	UTAM88	88	362703,734
245	UTAM88	88	362703,734
248	UTAM88	88	607240,55
248	UTAM88	88	607240,55
250	UTAM90	90	419733,219
251	UTAM90	90	344115,873

ZAT	UTAM	UPZ	Área
270	UTAM90	90	319313,32
271	UTAM99	99	219343,97
271	UTAM99	99	219343,97
272	UTAM90	90	336017,749
272	UTAM90	90	336017,749
273	UTAM90	90	192941,512
273	UTAM90	90	192941,512
274	UTAM90	90	153404,801
274	UTAM90	90	153404,801
275	UTAM99	99	453078,327
276	UTAM99	99	345965,088

251	UTAM90	90	344115,873
252	UTAM90	90	296197,053
252	UTAM90	90	296197,053
253	UTAM88	88	124425,341
253	UTAM88	88	124425,341
255	UTAM99	99	275987,678
259	UTAM97	97	424894,646
259	UTAM97	97	424894,646
260	UTAM88	88	149081,052
260	UTAM88	88	149081,052
261	UTAM88	88	353652,658
261	UTAM88	88	353652,658
262	UTAM88	88	185883,954
262	UTAM88	88	185883,954
263	UTAM88	88	227959,819
263	UTAM88	88	227959,819
264	UTAM88	88	274970,286
265	UTAM88	88	418477,855
265	UTAM88	88	418477,855
266	UTAM90	90	206032,085
267	UTAM90	90	248729,681
268	UTAM90	90	151824,858
269	UTAM90	90	99101,9471
276	UTAM99	99	345965,088
277	UTAM99	99	202488,07
284	UTAM90	90	237415,539
342	UTAM91	91	191553,915
343	UTAM91	91	484887,744
343	UTAM91	91	484887,744
345	UTAM91	91	200708,758
345	UTAM91	91	200708,758
346	UTAM91	91	105434,143
346	UTAM91	91	105434,143
348	UTAM92	92	122745,343
349	UTAM92	92	210537,939
350	UTAM92	92	339680,473
351	UTAM91	91	144054,375
351	UTAM91	91	144054,375
352	UTAM91	91	153059,802
352	UTAM91	91	153059,802
355	UTAM93	93	261858,777
845	UTAM90	90	67919,1013
847	UTAM97	97	223990,028
848	UTAM97	97	268366,327
992	UTAM91	91	120097,528
993	UTAM93	93	142941,316

Teniendo esta escala, se filtraron los viajes que tuvieran como origen y destino las 69 ZAT del buffer realizado. Se encontraron un total de 451 viajes y se extrajeron los siguientes datos de los viajes por persona:

- Modo principal
- ID_Etapa
- Hora inicio viaje
- P31 Hora llegada
- P21 Tiempo arrancar vehic
- P19_camino_minutos
- P22_cuanto_pago
- Costo adicional
- P27_experiencia_medio_transporte
- P26a_propiedad_vehiculo

3.2 Desarrollo de la línea base a partir de la estimación del Capital Social Asociado al Viaje desde la Accesibilidad: una medición multidimensional.

A partir de lo explicado en capítulos anteriores, se llevó a cabo una aproximación de medición de capital social asociado al viaje, entendiendo cómo se influye el capital social individual en la acción misma de viajar.

Para ello se tomó como referencia el estudio de (Fernández, 2023) en su tesis titulada “Metodología de evaluación multidimensional de la accesibilidad a través del transporte público como expresión de la vulnerabilidad social en Bogotá” (Fernández L, 2023). En dicho estudio, se plantea una metodología para evaluar la accesibilidad al transporte público a nivel de UPZ en Bogotá, centrándose en los motivos de viaje.

Esta metodología fue adoptada para capital social asociado al viaje, considerando que la accesibilidad al transporte público está fuertemente ligado a una variación en el capital social. Un sistema de transporte público accesible facilita la participación social y fortalece las conexiones sociales al mejorar el acceso al empleo, educación y actividades que satisfacen las necesidades individuales y comunitarias, fortaleciendo el tejido y la cohesión social, que son características estructurales del capital social.

Es importante resaltar que se asume que el capital social individual solo se verá afectado en los viajes que se realicen en transporte público. En el modelo de elección, el capital social solo afectará los viajes en transporte público y en transporte privado tomará un valor de 0. Esto porque se parte de la teoría que, a nivel individual, en los modos privados no se incentivan ni se permiten las interacciones sociales que puedan afectar el capital social dentro del viaje. Cabe destacar que esta teoría solo se limita el momento del viaje, sin intención de interferir con el capital social que se puede generar del desplazamiento origen-destino final.

Tomando como base el procedimiento adoptado por (Fernández, 2023) se toman los siguientes valores de la encuesta de movilidad 2019 con el fin de relacionar la accesibilidad y el capital social:

- ZAT origen y ZAT destino, asociados a una identificación de viaje compuesto por el hogar, persona y viaje realizado.
- Tiempos de espera y de acceso, entendiendo que, a mayores tiempos de espera se entiende una dificultad de acceso al transporte y por lo tanto una afectación al capital social individual.
- Costo adicional, para comprender si en cada viaje, fue necesario pagar un costo adicional a la tarifa estándar del uso de transporte público como modo principal.
- Etapas, para comprender si el viaje necesitó de más de un modo de transporte para llegar a su lugar de destino.

- Experiencia negativa, expresada a partir de la experiencia de viaje registrada en el modo principal con valores de 1 a 5, que para facilidades de cálculo se transforman para que la experiencia sea expresada en valores discretos de la siguiente manera (Ver Ecuación (3-1)):

$$\text{Experiencia negativa} = SI(\text{Experiencia de viaje} = 5, -(5 - \text{Experiencia de viaje}) * 0.2) \quad (3-1)$$

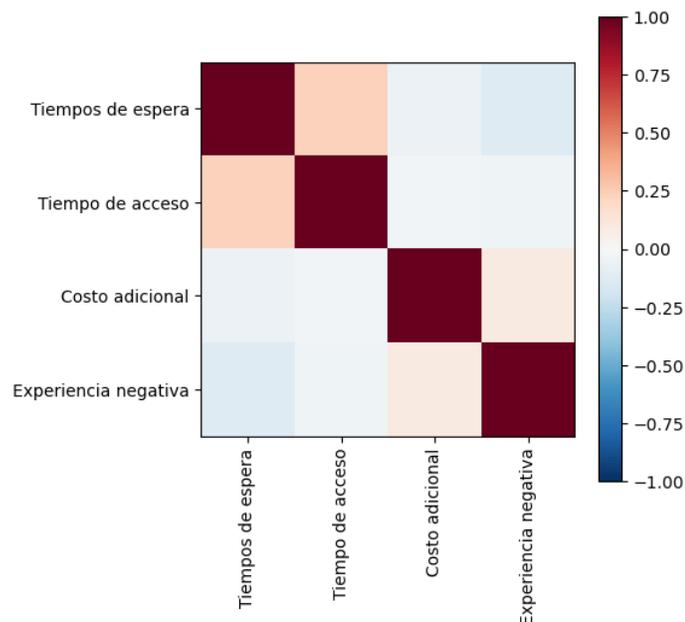
Esto permite expresar la experiencia en valores de -1 a 0, siendo -1 el valor más bajo de experiencia y 0 el más alto.

Luego de lo anterior, se realiza un paso crucial en la preparación de datos para algoritmos de machine learning y es la estandarización de los datos. La estandarización asegura que cada característica del conjunto de datos tenga una media de cero y una desviación estándar de uno. Este proceso es esencial para muchos algoritmos que son sensibles a las escalas de los datos. A continuación se presenta la línea de código realizada para esto:

```
scaler = StandardScaler()
data = df[variables]
n_features = len(data.columns)
variables = data
X = np.array(scaler.fit_transform(data))
```

Posteriormente, se calculó por medio de la herramienta Python una matriz de correlación entre las variables:

Imagen 3-4: Matriz de correlación entre indicadores. Elaboración propia.



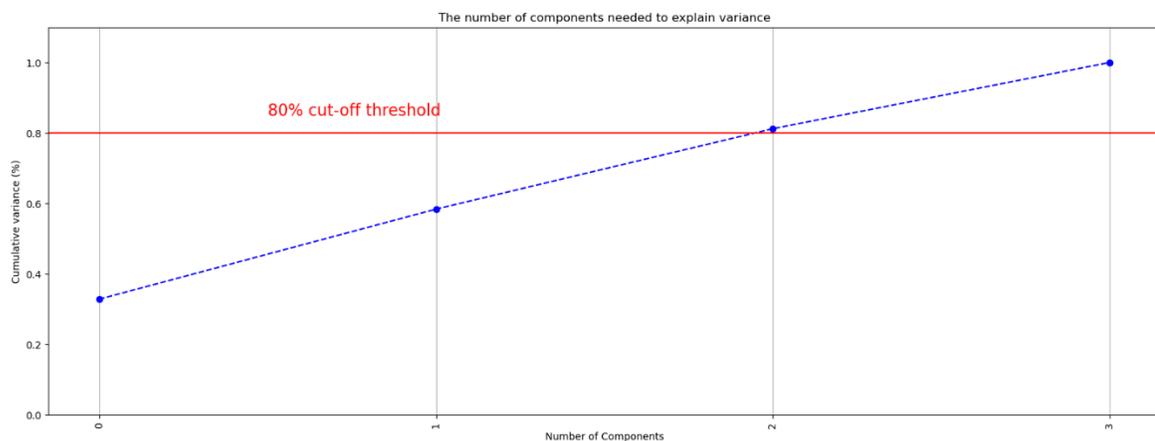
Esto permite observar una correlación entre las variables, siendo los tonos rojos las correlaciones más fuertes y los azules claros las más bajas. Es aquí donde se evidencia una correlación fuerte entre los tiempos de acceso y tiempos de viaje, igual que entre los costos adicionales con la experiencia negativa. Por otro lado, se presentó en menor medida una correlación entre la experiencia negativa y los tiempos de espera. Con esto en cuenta, se planteó la posibilidad de realizar una reducción de dimensionalidad por medio de la metodología de componentes principales (APC), siendo el resultado la dificultad de acceso al transporte público, una variable inversa del capital social.

Dado que en los datos analizados todas las observaciones para la variable "etapas" registran un valor constante de 1, se ha decidido excluir esta variable del modelo debido a la falta de variabilidad y al riesgo de multicolinealidad. No obstante, en futuras investigaciones que busquen replicar este análisis, podría considerarse la inclusión de la variable "etapas" en el modelo, siempre y cuando se detecte variabilidad en los nuevos conjuntos de datos.

Estas relaciones, representadas en la matriz de correlación, ofrecen una perspectiva de medición del capital social, donde las correlaciones fuertes se ven influenciadas por las condiciones de acceso al transporte. Además, se destaca que, junto con las variables temporales, factores como la experiencia y los costos adicionales también exhiben correlaciones que contribuyen a la comprensión del capital social en el contexto del viaje.

Utilizando Python, se ejecutó la explicación de varianza para la selección del número de componentes principales que expresarían al menos el 80% de la varianza acumulada como mínimo.

Diagrama 3-1: Varianza vs número de componentes. Elaboración propia.



A partir de esto, se generó la matriz de componentes:

Tabla 3-2: Componentes principales. Elaboración propia.

	0	1	2	3
0	0.647718	0.555442	-0.298095	-0.427884
1	0.217158	0.492797	0.684236	0.491746

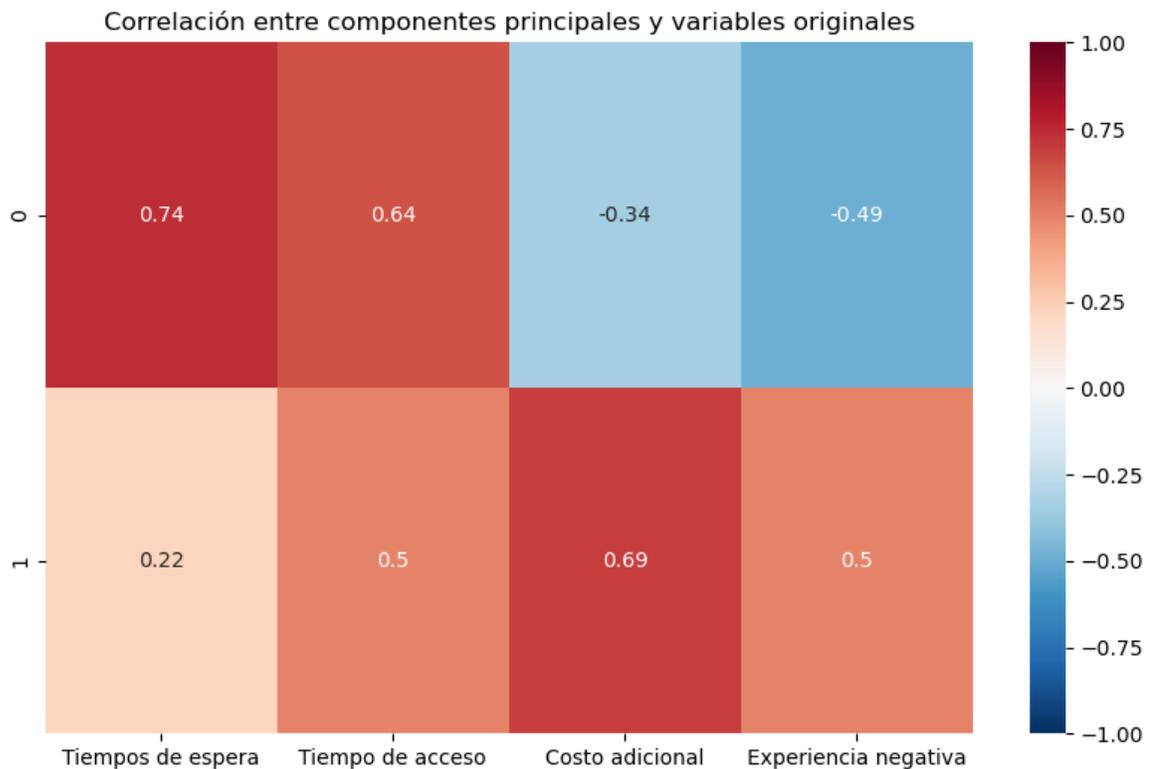
Se muestra la relación asociativa de las variables originales en las nuevas. Debido a que el propósito es calcular un índice sintético que exprese el capital social asociado el viaje, se infiere que el componente uno estaría constituido principalmente por los tiempos de acceso y espera, mientras que para el componente dos expresaría en mayor medida costo adicional y experiencia negativa.

En este contexto, se puede analizar los componentes principales una vez que se ha realizado una rotación ortogonal utilizando la función *varimax*, una técnica empleada en diversos estudios anteriores. Esta rotación permite observar la matriz inversa de los componentes principales de manera más clara. Posteriormente, se creó una matriz de correlación entre las variables iniciales y los componentes principales para entender mejor sus relaciones.

Componentes después de la rotación:

[[0.66620527 0.73067342 0.10106081 -0.1098799]

[-0.15121656 0.13221854 0.7394772 0.64251481]]



Cargas de las Variables Originales en las Nuevas Componentes Principales:

El primer componente principal muestra cargas altas y positivas para variables relacionadas con los tiempos de acceso y espera. Esto sugiere que las variables que representan estos aspectos del viaje tienen una fuerte asociación con este componente. ¿Por qué? Podría ser debido a que los tiempos de acceso y espera son factores críticos que influyen en la percepción de accesibilidad y comodidad del viaje. Si estos tiempos son largos, los usuarios pueden experimentar una disminución en su capital social percibido, ya que se sienten menos conectados y participativos en su entorno social durante el viaje.

El segundo componente principal, por otro lado, muestra cargas altas y positivas para variables relacionadas con el costo adicional y la experiencia negativa. Esto sugiere que las variables que representan estos aspectos económicos y emocionales tienen una fuerte asociación con este componente. ¿Por qué? Podría ser porque los costos adicionales y las experiencias negativas durante el viaje pueden afectar negativamente la satisfacción del usuario y su percepción de la calidad del servicio, lo que a su vez puede influir en su capital social percibido.

Correlación entre Componentes Principales y Variables Originales:

La correlación entre los tiempos de espera y de acceso con el primer componente principal es más alta en comparación con el segundo componente. Esto respalda la idea de que el primer componente está más relacionado con aspectos temporales del viaje, ya que los tiempos de espera y de acceso tienen un mayor impacto en la percepción del usuario sobre la accesibilidad y la eficiencia del transporte.

Por otro lado, la correlación entre el costo adicional y la experiencia negativa con el segundo componente principal es más alta en comparación con el primer componente. Esto sugiere que el segundo componente está más relacionado con aspectos económicos y emocionales del viaje, ya que los costos adicionales y las experiencias negativas tienen un mayor impacto en la satisfacción general del usuario y su percepción de la calidad del servicio.

En conclusión, estos resultados no solo proporcionan una visión superficial de los patrones observados en los datos, sino que también nos permiten comprender mejor las relaciones subyacentes entre las variables originales y los componentes principales, así como su impacto en el concepto de capital social asociado al viaje. Esto nos ayuda a identificar áreas clave de mejora y a diseñar estrategias efectivas para optimizar la experiencia del usuario durante el viaje.

Con estos valores de matriz de componentes principales, se realizó una transformación de la matriz original mediante proyecciones en el espacio de componentes principales. Esto se logró multiplicando la matriz original normalizada (451x5) por la matriz de componentes principales (5x2):

Tabla 3-3: Multiplicación de matriz original con matriz de componentes principales. Elaboración propia.

X1	X2	X3	X4	X5
X6	X7	X8	X9	X10
X11	X12	X13	X14	X15
X16	X17	X18	X19	X20
...
XN	XN	XN	XN	XN

X1	X2
X3	X4
X5	X6
X7	X8
...	...
XN	XN

$$X'_{1Matriz\ transformada} = X_{1Matriz\ original} * X_{1ACP} + X_{2Matriz\ original} * X_{3Matriz\ ACP} + X_{3Matriz\ original} * X_{5Matriz\ ACP} + \dots \quad (3-2)$$

A partir de esta matriz transformada, se generó un índice sintético expresado como una combinación lineal, siendo este el resultado de la suma de los elementos de la matriz transformada:

$$\text{Índice} = X'_{1\text{Matriz transformada}} + X'_{2\text{Matriz transformada}} \quad (3-3)$$

Ahora bien, con el fin de estandarizar los valores y expresarlos con valores entre 0 y 1, y teniendo en cuenta que el capital social será el inverso al índice sintético calculado en el PCA, se calculó el capital social asociado al viaje expresado como accesibilidad mediante de la siguiente ecuación:

$$\text{Índice estandarizado} = 1 - \left[\left(\text{Índice} \times \frac{1}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}} \right) + \left(-\frac{1}{\text{Máximo} - \text{Mínimo}} \times \text{Mínimo} \right) \right] \quad (3-4)$$

En resumen, la estimación del capital social asociado al viaje se planteó considerando la influencia del capital social individual en la acción misma de viajar. Para ello, se adoptó una metodología propuesta por (Fernández, 2023) en su tesis sobre la evaluación multidimensional de la accesibilidad a través del transporte público en Bogotá. Esta metodología se adaptó al contexto del capital social asociado al viaje, tomando como referencia la accesibilidad al transporte público como indicador clave de las relaciones sociales. A diferencia del enfoque de Fernández, centrado en un índice de accesibilidad a nivel de Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ), este estudio se concentró en la accesibilidad a nivel de viaje individual, lo que permitió analizar cómo las condiciones de acceso al transporte público influyen en las relaciones sociales durante cada viaje en particular.

Utilizando datos de la encuesta de movilidad de Bogotá 2019, se analizaron las variables: tiempos de espera y de acceso, el costo adicional, la experiencia negativa y el número de etapas del viaje. Se realizó una matriz de correlación entre estas variables para comprender mejor sus relaciones. Luego, se llevó a cabo una reducción de dimensionalidad mediante la metodología de componentes principales (PCA), donde se destacó la dificultad de acceso al transporte público como variable inversa del capital social. Este enfoque permitió identificar los componentes principales que explican al menos el 80% de la varianza acumulada de las variables originales.

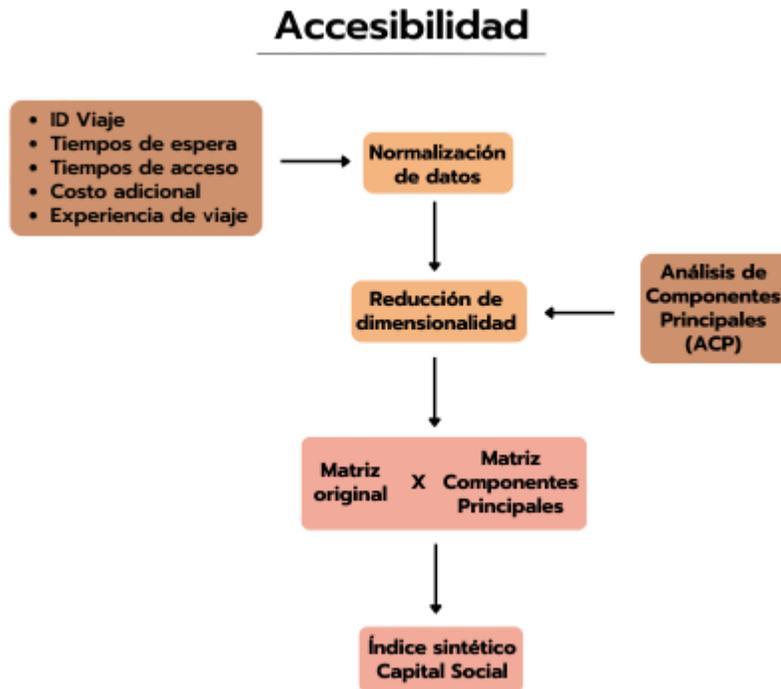
A partir de esto, se generó una matriz de componentes que mostraba la relación entre las variables originales y los nuevos componentes. Se aplicó una rotación ortogonal para facilitar la interpretación de estos componentes. Posteriormente, se calculó un índice sintético como una combinación lineal de las variables transformadas por el PCA, es importante en este punto estandarizar este índice para asegurar una comparación

significativa y coherente entre los diferentes valores obtenidos. La estandarización se lleva a cabo para expresar los valores del índice en una escala común que va de 0 a 1, lo que facilita la interpretación y la comparación de los resultados. Esta transformación permite que los valores estén en una escala uniforme y comprensible, lo que es fundamental para la interpretación y el análisis posteriores.

Una vez estandarizado el índice, se define el capital social como el inverso de este índice estandarizado. La razón detrás de esta definición radica en la lógica de que, a mayor accesibilidad percibida al transporte público, es decir, a mayores valores del índice estandarizado, menor sería la percepción de obstáculos y dificultades para interactuar socialmente durante el viaje. Por lo tanto, un valor alto del índice estandarizado indicaría una mayor capacidad de las personas para participar en interacciones sociales durante su desplazamiento en transporte público, lo que se traduciría en un mayor capital social asociado al viaje.

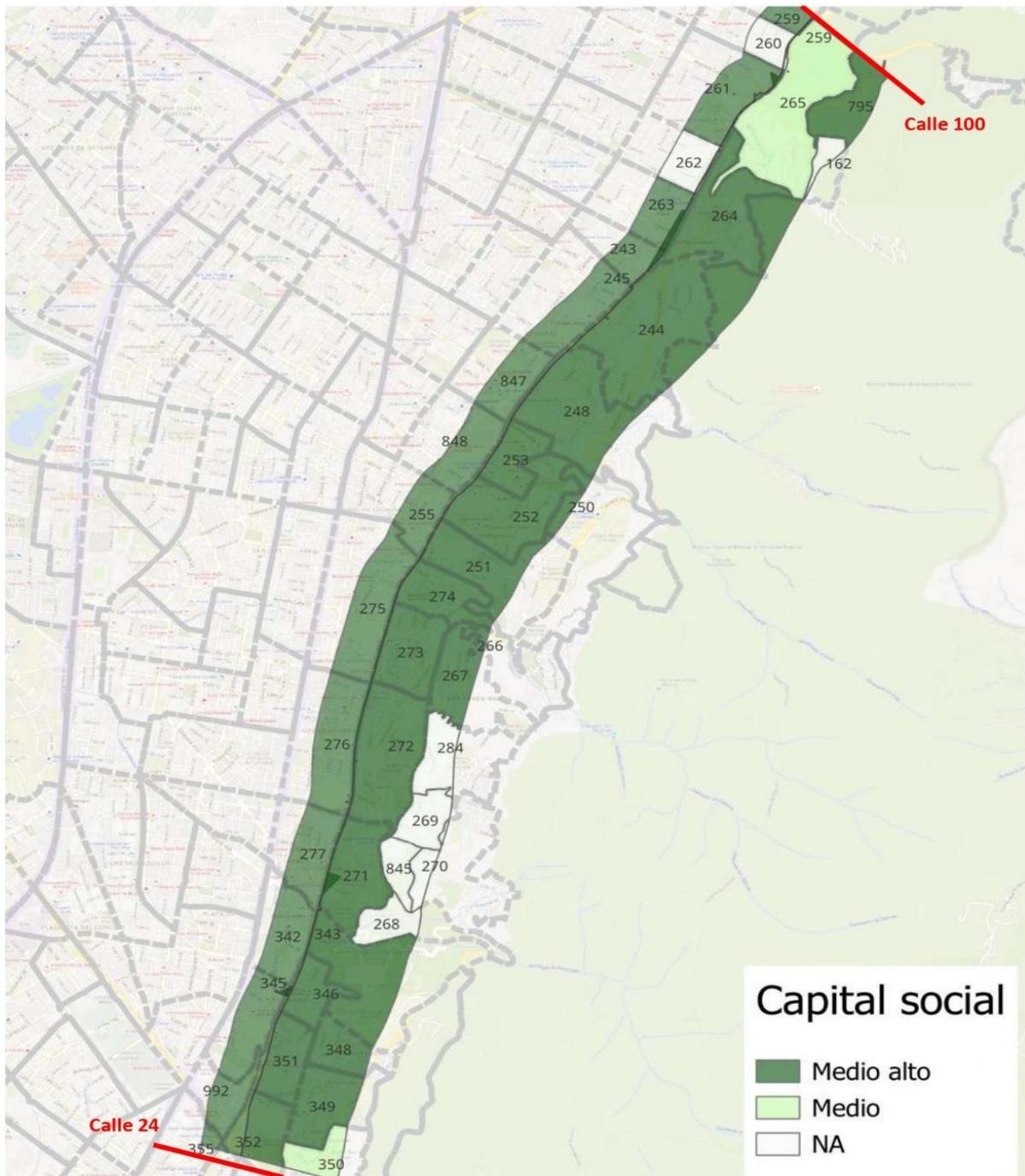
Finalmente, el capital social asociado al viaje se considera un indicador de accesibilidad, ya que refleja la capacidad de las personas para conectarse socialmente mientras utilizan el transporte público. Este indicador permite comprender mejor cómo las condiciones de acceso al transporte público, como los tiempos de espera, los costos adicionales y la experiencia durante el viaje, influyen en las interacciones sociales de las personas durante su desplazamiento. Al entender esta relación, se pueden identificar áreas de mejora en el diseño y la planificación del transporte público para fomentar una mayor cohesión social y una mejor calidad de vida para los ciudadanos.

Diagrama 3-2: Procedimiento para el cálculo de índice de Capital Social. Elaboración propia.



Con el propósito de analizar de manera visual los resultados obtenidos en relación con el capital social, se presenta a continuación un mapa que delinea las UPZ en la zona de estudio. Este mapa resalta los valores promedio asociados a los viajes que tienen como origen estas UPZ, brindando una representación geográfica de la dinámica del capital social en función del transporte público.

Al observar este mapa, se podrán identificar las áreas que muestran un mayor dinamismo en términos de capital social, evidenciando la interacción y generación de conexiones sociales impulsadas por los viajes con origen en estas zonas específicas.

Imagen 3-5: Mapa de capital social ZAT origen. Elaboración propia.

Siguiendo la lógica fundamental de la investigación, que se centra en la influencia del capital social asociado al viaje como un dinamizador tanto del capital social individual como del comunitario, se presenta a continuación un segundo mapa. Este nuevo mapa utiliza líneas direccionales para

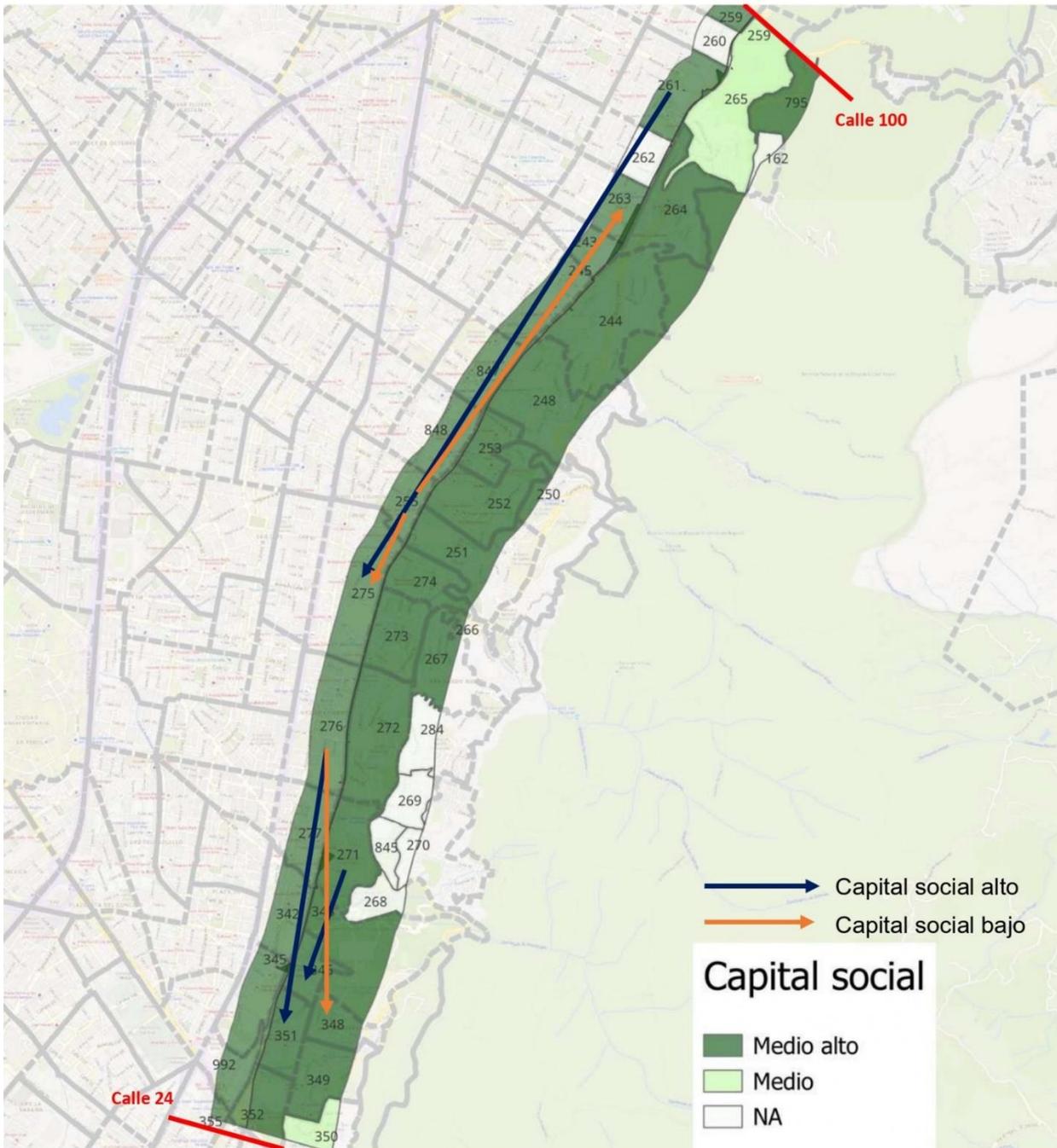
visualizar los trayectos, destacando aquellos con valores más altos de capital social asociado al viaje y aquellos con valores más bajos.

Esta representación gráfica busca proporcionar una visión clara de la movilidad en la zona de estudio, identificando las rutas que contribuyen significativamente al aumento del capital social individual y, por ende, al fortalecimiento del tejido social en la comunidad. Asimismo, se resaltarán las trayectorias que presentan valores más bajos de capital social asociado al viaje, permitiendo discernir las áreas donde se podría fomentar una mayor interacción y participación ciudadana para mejorar la calidad del capital social en dichas zonas. Este enfoque de líneas direccionales en el mapa facilita la comprensión visual de la relación entre la movilidad y la construcción del capital social en la región de estudio.

Tabla 3-4: Valores más altos y bajos de capital social de viajes entre UPZ. Elaboración propia.

ZAT origen	ZAT destino	Índice capital social	Categoría
261	275	1,00	Alto
276	351	0,99	Alto
271	346	0,98	Alto
245	255	0,98	Alto
277	993	0,98	Alto
276	342	0,97	Alto
351	255	0,95	Alto
993	271	0,95	Alto
795	276	0,37	Medio bajo
795	263	0,34	Medio bajo
255	993	0,31	Medio bajo
847	847	0,20	Bajo
255	275	0,11	Bajo
276	348	0,03	Bajo
795	276	0,00	Bajo

Imagen 3-6: Mapa de capital social viajes relevantes. Elaboración propia.



3.3 Preparación de datos modelo de elección: Estandarización costos de viaje

Dado que se empleará un modelo de elección discreta, es importante conocer los costos que se generarían cada uno de los modos de transporte, para el caso de estudio, privado (auto y moto) y público (Transmilenio, SITP y bus).

Los datos relativos al transporte público se han estandarizado a la tarifa de 2.500 pesos colombianos vigente en el año 2019.

En cuanto al transporte privado, donde se consideran autos y motos, se estandarizaron los costos por minuto. Para esto, se utilizaron los costos de gasolina, considerando el precio por galón de 13.964 pesos. Posteriormente, se evaluaron los consumos promedio para automóviles y motos:

Tabla 3-5: Consumo de gasolina. Elaboración propia.

Consumo promedio	
Auto	15km/g
Moto	5l/100km

A continuación, se calculó el costo por minuto de gasolina mediante la siguiente ecuación (Ver Ecuación (3-5)):

$$Costo\ gasolina / minuto = \frac{Costo\ por\ galón\ \$}{60\ minutos} \quad (3-5)$$

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3-6: Costos por minuto de gasolina. Elaboración propia.

	Costo por minuto gasolina
Auto	\$232.73
Moto	\$61.48

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta un nivel determinado nivel de costo de operación para ambas tipologías de vehículos privados. Esto incluyen costos de limpieza,

mantenimiento, impuestos, entre otros, calculados por minuto, tomando en cuenta la temporalidad de cada ítem:

Tabla 3-7: Costos de operación. Elaboración propia.

	Moto \$minuto	Carro \$minuto
Limpieza (mes)	\$ 0,69	\$ 1,16
Mantenimiento (mes)	\$ 1,85	\$ 2,31
SOAT (anual)	\$ 0,95	\$ 1,35
Tecno mecánica (anual)	\$ 0,22	\$ 0,48
Impuesto (anual)	\$ 0,14	\$ 1,45
Parqueadero (mensual)	\$ 1,16	\$ 4,63
Semaforización (anual)	\$ 0,13	
TOTAL	\$ 5,15	\$ 11,38

Con estos resultados se obtiene una aproximación de costo por minuto:

Tabla 3-8: Costos por minuto de auto y moto. Elaboración propia.

	Costo por minuto total
Auto	\$ 261,38
Moto	\$ 66.48

Con este valor, se puede realizar una aproximación del costo de viaje total, multiplicando el tiempo de viaje por el costo por minuto calculado para autos y motos.

Adicionalmente, se llevó a cabo una validación de este valor mediante un informe resumen del BIP y DNP, titulado "Evaluación socioeconómica para la primera línea del metro de Bogotá". Los costos de operación están detallados en la página 89, sección 10.6. Dicho documento expone un valor de 578 pesos por kilómetro recorrido en un automóvil, esto, expresado en valores de pesos por minuto, tiene un valor aproximado de 297.67 pesos, teniendo en cuenta el aumento del IPC. El valor no presenta grandes diferencias con los valores presentados.

3.4 Preparación de datos modelo de elección: Estandarización y cálculo de tiempos de viaje

Se realizaron diferentes aproximaciones para calcular los tiempos desconocidos en los datos. Para la primera aproximación se calcularon centroides de cada ZAT tomado en el buffer en QGIS. Posteriormente, se utilizó la herramienta geométrica del software para calcular una matriz de distancias aproximadas entre centroides de cada ZAT. A partir de esta información, se calculan las velocidades aproximadas utilizando los tiempos de viaje conocidos. Luego, se determinaron las velocidades promedio para el transporte público y para el transporte privado, con este valor se calcularon los tiempos de viaje faltantes para cada modo.

Sin embargo, con el objetivo de emplear una metodología alternativa, se utilizó la herramienta de Python para conocer los tiempos de viaje a partir de Google Maps. Para esto, se extrajeron las coordenadas (latitudes y longitudes) de cada centroide de cada ZAT dentro del buffer. Estas coordenadas se convirtieron al sistema de referencia de coordenadas EPSG:4326-WGS 84 para que fuera compatible con Google Maps. Luego, se obtuvo una clave API de Google, y se ejecutó un código en Python que proporcionaba tiempos de viaje en minutos para modo transporte público y privado.

Tomando lo anterior, se obtuvieron cuatro columnas de aproximaciones a los tiempos de viaje en los espacios de información desconocida. Con el fin de reducir los valores extremos entre los modos, se genera un listado de 4 posibilidades de combinación:

1. Tiempos de viaje de transporte público y transporte privado calculados a partir de distancias entre centroides y velocidades promedio.
2. Tiempos de viaje de transporte público y transporte privado calculados a partir de Google Maps
3. Tiempos de viaje de transporte público calculados a partir de distancias entre centroides y velocidades promedio, y transporte privado calculado a partir de Google Maps.
4. Tiempos de viaje de transporte público calculado a partir de Google Maps y transporte privado calculado a partir de distancias entre centroides y velocidades promedio.

Estas combinaciones generaron diferencias entre los tiempos de viaje de cada modo, que sirvieron como línea de elección de los tiempos de viaje calculados. A través de una selección en Excel que identificaba el mínimo valor absoluto de las diferencias, se eligieron las combinaciones para cada viaje y se asignaron los valores de tiempo de viaje.

3.5 Desarrollo de Modelo de elección discreta para integrar el capital social

Como bien se planteó en la metodología, se realizará en análisis de dos modelos de elección discreta, uno incluyendo el capital social y otro únicamente con costos y tiempos de viaje. Para esto se realizó la preparación de un archivo en Excel.

A continuación, se presenta el desarrollo de la metodología para un modelo de elección discreta sin capital social.

3.5.1 Modelo de elección discreta sin capital social

El primer cálculo partirá del valor de la utilidad de cada modo (Ver Ecuación (3-6), (3-7)):

Transporte privado

$$VPrT \text{ (Utilidad del transporte privado)} = \beta_1 \text{ Tiempo} * \text{Tiempo (h)} + \beta_2 \text{ Costo} * \text{Costo de viaje (Miles \$)} \quad (3-6)$$

Transporte público

$$VPuT \text{ (Utilidad del transporte público)} = \alpha PuT + \beta_1 \text{ Tiempo} * \text{Tiempo (h)} + \beta_2 \text{ Costo} * \text{Costo de viaje (Miles \$)} \quad (3-7)$$

A continuación, y siguiendo con la ecuación del modelo Logit, se calcula la probabilidad de elección del transporte público y del transporte privado, no sin antes incluir la información de tenencia o no de vehículo que puede limitar la elección de transporte privado (Ver Ecuación (3-8))

$$P_{PrT} = \text{Tenencia de vehículo} * \frac{e^{U_{PrT}}}{e^{U_{PrT}} + e^{U_{PuT}}} \quad (3-8)$$

$$P_{PuT} = \frac{e^{U_{PuT}}}{e^{U_{PrT}} + e^{U_{PuT}}}$$

Luego se calculan las verosimilitudes (Ver Ecuación (3-5))

$$L = \text{Elección(Tr. Privado)} * \text{LnProb(Tr. Privado)} + \text{Elección(Tr. Público)} * \text{LnProb(Tr. Público)} \quad (3-9)$$

Como el propósito del modelo es maximizar la función de Máxima Verosimilitud, se utiliza la función de solver del software de Excel, cambiando las celdas variables, la constante latente de transporte público α y las constantes β del costo y del tiempo.

Obteniendo como máximo el valor de -288.94 útiles de la función de máxima verosimilitud y las constantes:

Tabla 3-9: Constantes modelo sin capital social. Elaboración propia.

α PuT	-0,754	
β_1 Tiempo	-1,407	[1/h]
β_2 Costo	-0,053	[1/ Miles\$]]

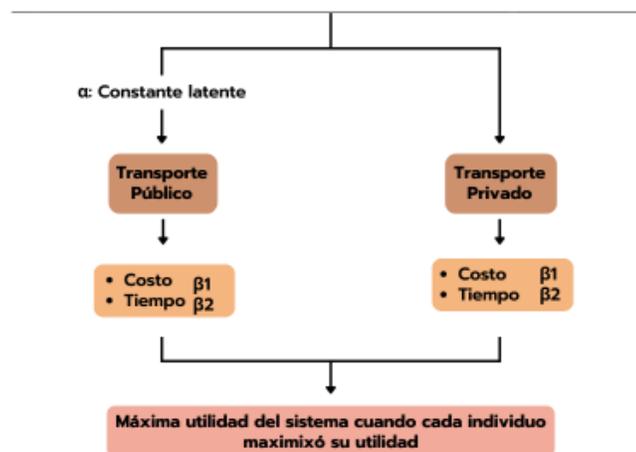
Estos resultados expresan, para la constante asociada al transporte público, con valor negativo, que en ausencia de otras consideraciones como tiempo y costo que influyen en su elección en la dirección opuesta, las personas tienden a preferir el transporte privado.

El coeficiente β_1 de Tiempo con valor negativo, que representa que a medida que el tiempo de viaje aumenta, la utilidad del modo de transporte disminuye, es decir, por ejemplo, que las personas tienden a elegir el transporte público cuando el tiempo de viaje es menos a comparación del transporte privado.

El coeficiente β_2 de Costo con valor negativo, representa que a medida que el costo del viaje aumenta, la utilidad del modo de transporte disminuye, es decir, por ejemplo, que las personas son menos propensas a elegir el transporte público si es más costoso en comparación con el transporte privado.

Diagrama 3-3: Modelo de elección discreta sin capital social. Elaboración propia.

Modelo de elección de transporte de máxima verosimilitud



En el proceso de validación del modelo, se llevó a cabo un análisis mediante el uso de software Python para recalibrar las constantes Alpha y Bettas y evaluar la relevancia estadística de los datos.

Este código en Python se utilizó para ajustar un modelo de elección discreta a datos observados, considerando la influencia de variables independientes como el tiempo y el costo en la elección de transporte público y transporte privado. A continuación, se presenta una descripción detallada del procedimiento:

Comenzando con la importación de bibliotecas como Pandas para el manejo de datos, NumPy para operaciones numéricas, SciPy.optimize para la optimización y Statsmodels.api para realizar operaciones estadísticas.

Luego se procede a cargar los datos organizados en la sección 2 de este documento. Seguidamente, se definen las variables independientes (X) y la variable dependiente (y) del conjunto de datos que serán utilizadas en la función de log-verosimilitud negativa, denominada `neg_log_likelihood`. Esta función calcula la log-verosimilitud negativa del modelo, la cual será minimizada para ajustar los parámetros del modelo a los datos observados.

La optimización se lleva a cabo mediante la función `minimize` de SciPy.optimize, que busca los valores de los parámetros que minimizan la log-verosimilitud negativa. Estos valores iniciales son proporcionados por `initial_params`.

Posteriormente, se extraen los valores optimizados de los parámetros (`beta1_opt`, `beta2_opt`, `alpha_opt`) del resultado de la optimización.

Finalmente, los resultados optimizados de los parámetros del modelo se imprimen para su revisión y análisis. Este proceso integral de validación garantiza una evaluación rigurosa y ajustada del modelo a los datos observados.

Los resultados del modelo SCS, obtenidos a través de Python, se presentan en la Tabla 9:

Tabla 3-10: Resultado modelo SCS Python. Elaboración propia.

β_1 Tiempo	-1.407	[1/h]
β_2 Costo	-0.053	[1/ Miles\$]
Valores optimizados de Alpha:	-0.754	

Estos valores optimizados respaldan y refuerzan los hallazgos obtenidos mediante el uso del software Excel. La consistencia en los resultados entre ambas plataformas subraya la robustez y confiabilidad del modelo, consolidando su validez en la representación de los datos observados.

3.5.1.1 Análisis estadístico modelo sin capital social

Con el propósito de validar y profundizar en los resultados del modelo Logit de elección discreta sin capital social, se llevó a cabo un análisis detallado mediante la construcción de una matriz de confusión. Este enfoque permitió evaluar la eficacia del modelo al momento de clasificar los viajes.

Para este análisis, se utilizó la base de datos generada a partir de las probabilidades calculadas con los valores de Alpha y Beta. Dado que estas probabilidades varían entre 0 y 1, se procedió a su discretización, aproximándolas a los valores binarios 0 y 1, para facilitar su comparación con las elecciones reales.

La matriz de confusión resultante, presentada en la Tabla 3-12, desglosa la clasificación del modelo en términos de transporte público y transporte privado frente a las elecciones reales.

Tabla 3-11: Matriz de confusión sin capital social. Elaboración propia.

Matriz de confusión			Estimador por el modelo		
			Transporte público	Transporte privado	
Real	Transporte público	188	172	16	
	Transporte privado	263	22	241	
			194	257	
			91.63%	91.49%	91.57%
			Recall	Specificity	Accuracy

La exactitud del modelo, expresada como el porcentaje de casos correctamente clasificados, alcanzó un 91.57%. Este indicador es fundamental, ya que refleja la capacidad del modelo para predecir adecuadamente las elecciones entre transporte público y privado.

Adicionalmente, se calcularon los valores de Recall (sensibilidad) y especificidad, que se presentan como porcentajes. Estos indicadores son esenciales para comprender la capacidad del modelo en la identificación de casos positivos y negativos.

En particular, se destaca una alta exactitud para el modelo sin capital social, señalando su eficacia en clasificar las elecciones de transporte. Este resultado sugiere que el modelo presenta un rendimiento consistente y confiable en la predicción de elecciones.

Este análisis detallado proporciona una visión completa de la capacidad predictiva del modelo, permitiendo una evaluación rigurosa de su rendimiento. La alta precisión observada sugiere que el modelo sin capital social puede ser robusto en la clasificación de elecciones discretas en el contexto estudiado.

3.5.2 Modelo de elección discreta con capital social

Ahora bien, en concordancia con la metodología propuesta, se repite el procedimiento de modelo de elección discreta, pero en esta ocasión incluyendo el índice sintético de capital

social asociado al viaje calculado en el numeral 3.2. a partir de la medida de accesibilidad incidiendo en los viajes individuales

Se calcula nuevamente el valor de la utilidad de cada modo (Ver Ecuación (3-10), (3-11)):

Transporte privado

$$VPrT \text{ (Utilidad del transporte privado)} = \beta_1 \text{ Tiempo} * \text{Tiempo (h)} + \beta_2 \text{ Costo} * \text{Costo de viaje (Miles \$)} + \beta_3 \text{ Capital Social} * \text{Capital Social}$$

(3-10)

Es importante resaltar que se asume que el capital social individual solo se verá afectado en los viajes que se realicen en transporte público. En el modelo de elección, el capital social solo afectará los viajes en transporte público y en transporte privado tomará un valor de **$\beta_3 \text{ Capital Social} = 0$** . Esto se debe a que se parte de la teoría que, a nivel individual, en los modos privados no se incentivan ni se permiten las interacciones sociales que puedan afectar el capital social dentro del viaje. Cabe destacar que esta teoría solo se limita al momento del viaje, sin intención de interferir con el capital social que se puede generar del desplazamiento origen-destino final.

El fundamento de esta suposición radica en que el transporte público proporciona un entorno compartido donde las personas tienen la oportunidad de interactuar, observar comportamientos, participar en actividades colectivas y, en general, formar parte de una comunidad en movimiento. Estas interacciones, aunque breves, pueden contribuir significativamente al capital social individual y colectivo. Por ejemplo, la experiencia de compartir un espacio con otros usuarios, participar en conversaciones casuales, y la exposición a la diversidad social y cultural dentro de un vehículo de transporte público puede fortalecer las redes sociales y fomentar un sentido de pertenencia y confianza mutua entre los individuos.

En contraste, los modos de transporte privado, como automóviles particulares o motocicletas, tienden a aislar a los individuos de estas interacciones sociales espontáneas y cotidianas. Los viajes en transporte privado suelen ser más individualistas, limitando las oportunidades de interacción social directa durante el desplazamiento. Aunque es posible que las personas generen capital social en su destino final, el propio acto de viajar en transporte privado no contribuye significativamente a esta dinámica, ya que la naturaleza aislada de estos modos de transporte restringe la interacción social.

Además, este enfoque teórico se centra en el momento del viaje para aislar los efectos directos del transporte en el capital social. Es decir, se reconoce que las interacciones sociales que ocurren en los destinos de origen y destino final pueden influir en el capital social, pero estas no son el foco del análisis en el contexto del modelo de elección de transporte. Al enfocarse específicamente en el momento del viaje, se puede evaluar de manera más precisa cómo las características del entorno de transporte público, como la densidad de pasajeros, la duración del viaje, y la calidad del servicio, impactan el capital social.

Asimismo, este modelo considera que las decisiones de movilidad están influenciadas por el esfuerzo y el costo asociados a cada opción de transporte. Según Hanson (1995), las personas tienden a elegir rutas y modos de transporte que minimicen el esfuerzo y el costo. Sin embargo, también reconoce que las elecciones de movilidad están condicionadas por diversas variables del entorno, como la accesibilidad, la necesidad de desplazarse a ciertos lugares específicos y la disponibilidad de alternativas de transporte. Esto refuerza la idea de que, mientras el transporte público facilita interacciones sociales y, por ende, la generación de capital social, el transporte privado no lo hace debido a su naturaleza más aislada y orientada a la eficiencia individual.

En resumen, el modelo de elección se basa en la premisa de que el transporte público, al ser un espacio compartido, ofrece oportunidades únicas para la interacción social y, por ende, para el desarrollo del capital social. En cambio, el transporte privado no facilita estas interacciones durante el viaje, justificando así que el capital social tome un valor de 0 en estos casos. Esta distinción permite una evaluación más clara y precisa de la relación entre movilidad y capital social, centrando el análisis en el entorno inmediato del viaje en transporte público.

Transporte público: Este incluirá el valor de capital social asociado al viaje, entendiendo lo mencionado desde el capítulo 1, donde el transporte público es un medio que, a partir de sus características de accesibilidad promoverá la interacción y dinamizará el capital social:

$$VPuT(\text{Utilidad del transporte público}) = \alpha PuT + \beta 3 \text{ Capital Social} * \text{Capital Social} + \beta 1 \text{ Tiempo} * \text{Tiempo (h)} + \beta 2 \text{ Costo} * \text{Costo de viaje (Miles \$)} \quad (3-11)$$

A continuación, y siguiendo con la ecuación del modelo Logit, se calcula la probabilidad de elección del transporte público y del transporte privado, no sin antes incluir la información de tenencia o no de vehículo que puede limitar la elección de transporte privado

$$P_{PrT} = \text{Tenencia de vehículo} * \frac{e^{U_{PrT}}}{e^{U_{PrT}} + e^{U_{PuT}}} \quad (3-12)$$

$$P_{PuT} = \frac{e^{U_{PuT}}}{e^{U_{PrT}} + e^{U_{PuT}}}$$

Luego se calculan las verosimilitudes con la ecuación:

$$L = \text{Elección(Tr. Privado)} * \text{LnProb(Tr. Privado)} + \text{Elección(Tr. Público)} * \text{LnProb(Tr. Público)} \quad (3-13)$$

Como el propósito del modelo es maximizar la función de Máxima Verosimilitud, se utiliza la función de solver del software de Excel, cambiando las celdas variables, la constante latente de transporte público α y las constantes β del costo y del tiempo.

Obteniendo como máximo el valor de -287.63 útiles de la función de máxima verosimilitud y las constantes:

Tabla 3-12: Constantes modelo con capital social. Elaboración propia.

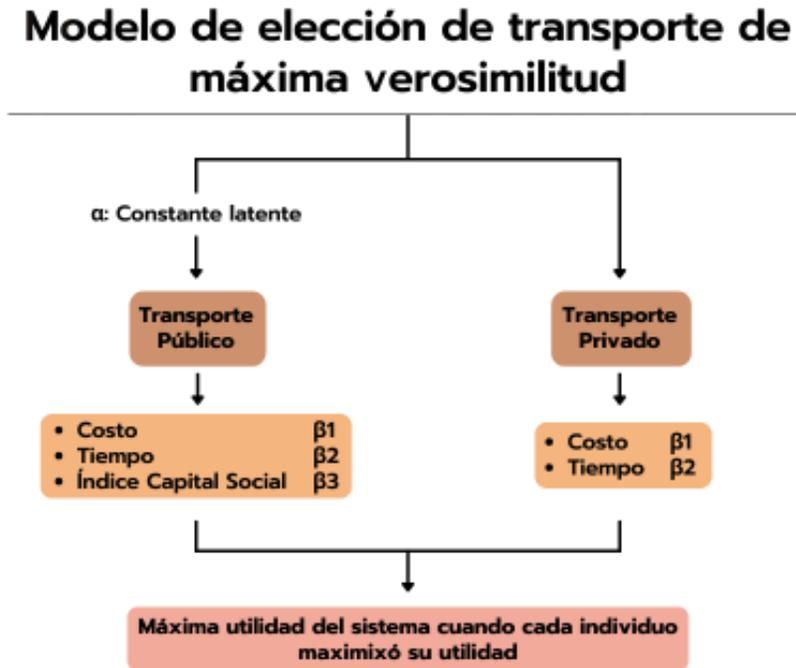
α PuT	-1,214	
β_1 Tiempo	-1,395	[1/h]
β_2 Costo	-0,052	[1/ Miles\$]
β_3 Capital Social	0,624	

Estos resultados expresan, para la constante asociada al transporte público, con valor negativo, que en ausencia de otras consideraciones como tiempo y costo que influyen en su elección en la dirección opuesta, las personas tienden a preferir el transporte privado.

Al igual que el modelo sin capital social, el coeficiente β_1 de Tiempo y el coeficiente β_2 de Costo, tienen un valor negativo, lo cual infiere que a medida que el costo del viaje y el tiempo aumentan, la utilidad del modo de transporte disminuye, y que las personas son menos propensas a elegir el transporte público si es más costoso o los tiempos de viaje son más altos en comparación con el transporte privado.

Finalmente se observa que el coeficiente **β_3** de capital social tiene un valor positivo, por lo que se puede afirmar que a medida que el capital social asociado al viaje aumenta, la utilidad del modo de transporte aumenta, y que las personas son más propensas a elegir el transporte público debido a que el capital social asociado a este modo tiene un valor agregado.

Diagrama 3-4: Modelo de elección discreta sin capital social



En la fase de validación del modelo centrado en el capital social, al igual que en el numeral 3.1.2, se llevó a cabo un análisis utilizando el software Python con el propósito de recalculer las constantes Alpha y Bettas y determinar la relevancia estadística de los datos. Este proceso se enfocó en ajustar un modelo de elección discreta, considerando la influencia de variables independientes como tiempo, costo y capital social en la elección entre el transporte público y privado.

El código de Python se desarrolló con la misma estructura que el utilizado en la validación del modelo sin capital social con la diferencia de que este incluye dentro de sus datos el capital social. Luego de correr el modelo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3-13: Resultado modelo SCS Python. Elaboración propia.

β1 Tiempo	-1.395	[1/h]
β2 Costo	-0.052	[1/ Miles\$]
β3 Capital Social	0.624	
Valores optimizados de Alpha:	-1.214	

Estos resultados fueron consistentes con los obtenidos mediante el uso del software Excel, proporcionando una validación adicional a la robustez del modelo.

3.5.2.1 Análisis estadístico modelo con capital social

Siguiendo con el análisis detallado del modelo Logit de elección discreta con capital social, se procedió, tal como se describe en la sección 3.5.1.1, a realizar una matriz de confusión específica para el modelo que incorpora la variable de capital social. Este paso es crucial para comparar los resultados obtenidos y evaluar si la inclusión de la variable de capital social mejora la capacidad predictiva del modelo.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente matriz de confusión (Tabla 3-15), la cual destaca la clasificación del modelo en términos de transporte público y transporte privado en comparación con las elecciones reales.

Tabla 3-14: Matriz de confusión con capital social. Elaboración propia.

Matriz de confusión			Estimador por el modelo	
			Transporte público	Transporte privado
Real	Transporte público	188	172	16
	Transporte privado	263	19	244
			191	260
			92.78%	91.49%
			Recall	Specificity
				Accuracy

La exactitud del modelo con capital social, expresada como el porcentaje de casos correctamente clasificados, mostró un incremento, alcanzando un valor de 92.24%. Este indicador resalta la habilidad del modelo para predecir con precisión las elecciones entre transporte público y privado, considerando ahora la variable adicional de capital social.

Además, se calcularon los valores de Recall (sensibilidad) y especificidad, los cuales fueron 92.78% y 91.49% respectivamente. Estos porcentajes son ligeramente superiores en comparación con el modelo sin capital social, indicando que la inclusión de la variable de capital social ajusta y mejora la capacidad del modelo para identificar la elección de transporte público como privado.

Es importante resaltar que los porcentajes más altos obtenidos en el modelo con capital social refuerzan la idea de que esta variable influye de manera significativa en las predicciones del modelo. La mayor precisión y exactitud sugieren que la consideración de capital social proporciona información importante, lo cual ajusta el modelo y lo hace más preciso en sus predicciones de elecciones modales. Este hallazgo respalda la importancia de incluir factores sociales en el análisis de elecciones discretas, destacando su impacto en la toma de decisiones de transporte.

3.5.3 Comparación de resultados de modelos

A continuación, se presenta el resumen de los resultados obtenidos en ambos modelos Logit de elección discreta, se presentan los valores de la constante latente de transporte público α (negativas) y las constantes β del costo, del tiempo (negativas) y para el caso del segundo modelo, de capital social (positivo). Adicionalmente se presenta un porcentaje de aciertos del modelo comparado con las elecciones reales conocidas a partir de lo calculado en la matriz de confusión.

Tabla 3-15: Matriz de correlación modelo sin capital social. Elaboración propia.

Modelo de elección discreta				
	Sin capital social		Con capital social	
	PuT	PrT	PuT	PrT
α	-0,754	N/A	-1,214	N/A
β_1 Tiempo	-1.407		-1,395	
β_2 Costo	-0.053		-0.052	
β_3 Capital Social	N/A		0,624	
Aciertos de la probabilidad con la elección modal real	413/451		416/451	
Porcentaje de aciertos	91.57%		92.24%	

La tabla presenta los resultados del modelo de elección discreta utilizado para analizar las decisiones modales de transporte (PuT: Transporte Público; PrT: Transporte Privado) bajo dos escenarios: sin considerar el capital social y considerando el capital social como una variable adicional en el modelo.

- α (Intercepto): Representa el efecto constante en la probabilidad de elección del transporte público (PuT) y transporte privado (PrT). En el modelo sin capital social, el intercepto para PuT es -0.754, lo que indica que, todas las demás variables siendo iguales, la probabilidad de elegir PuT es más baja. En el modelo con capital social, el intercepto para PuT es aún más bajo (-1.214), lo que sugiere que considerar el capital social reduce aún más la probabilidad de elegir transporte público en comparación con el transporte privado.
- β_1 (Tiempo): Coeficiente que representa el efecto del tiempo de viaje en la elección modal. En ambos modelos (sin y con capital social), el tiempo tiene un efecto negativo significativo en la elección de ambos modos de transporte, indicado por los valores negativos (-1.407 para PuT y -1.395 para PrT en el modelo sin capital social). Esto significa que a medida que aumenta el tiempo de viaje, la probabilidad de elegir tanto transporte público como privado disminuye.

- β_2 (Costo): Coeficiente que representa el efecto del costo en la elección modal. Similar al tiempo, el costo también tiene un efecto negativo en la elección de transporte, aunque es menos pronunciado (-0.053 para PuT y -0.052 para PrT en ambos modelos). Esto indica que el aumento en el costo reduce la probabilidad de elegir tanto transporte público como privado.
- β_3 (Capital Social): Coeficiente que representa el efecto del capital social en la elección modal, disponible solo en el modelo con capital social. Un valor positivo de 0.624 sugiere que un aumento en el capital social aumenta la probabilidad de elegir transporte público en lugar de privado. Esto indica que el capital social tiene un efecto positivo en la elección del transporte público, posiblemente debido a la percepción de mejores interacciones sociales y accesibilidad.
- Aciertos de la probabilidad con la elección modal real: Muestra el número de predicciones correctas de elección modal en comparación con los datos reales. En ambos modelos, se logran altos porcentajes de aciertos: 91.57% sin capital social y 92.24% con capital social. Esto indica que ambos modelos son efectivos para predecir la elección modal en base a las variables incluidas, con una ligera mejora al considerar el capital social.

En conjunto, estos resultados destacan cómo el modelo de elección discreta puede ser utilizado para entender las preferencias modales de transporte, demostrando cómo variables como el tiempo, el costo y especialmente el capital social influyen en las decisiones de movilidad urbana.

4. Análisis de resultados

Este capítulo constituye un análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior. Los valores presentados en el numeral 3.5.3. presentan una confirmación de la incidencia del capital social en la elección de transporte. La inclusión del Capital social asociado al viaje mejora la precisión de la predicción de viajes en transporte público y privado en el modelo de elección discreta como se puede observar en la tabla 3-16, la precisión de la predicción de viajes en ambos modos de transporte, pasan del 91.57% al 92.24% comparando las probabilidades con la repartición real modal de transporte.

El ejercicio de máxima verosimilitud con el cual se calibró el modelo Logit, presenta los valores óptimos para la cual la función de utilidad es máxima, la validación del modelo se logró desde la consistencia de los signos de los parámetros y los porcentajes de efectividad para cada modelo.

Se logra entonces en este análisis comprobar el cumplimiento de los objetivos establecidos. La caracterización de preferencias y entorno social, en la elección de variables de Capital social asociado al viaje, junto con la estimación de la línea base de Capital social asociado al viaje a través de un análisis de componentes principales que permitieron una estimación de un índice sintético de Capital social asociado al viaje que fue utilizado en el modelo de elección discreta, demuestra la efectividad de la metodología para lograr el objetivo general. La relación bidireccional entre capital social y elección modal se valida numéricamente.

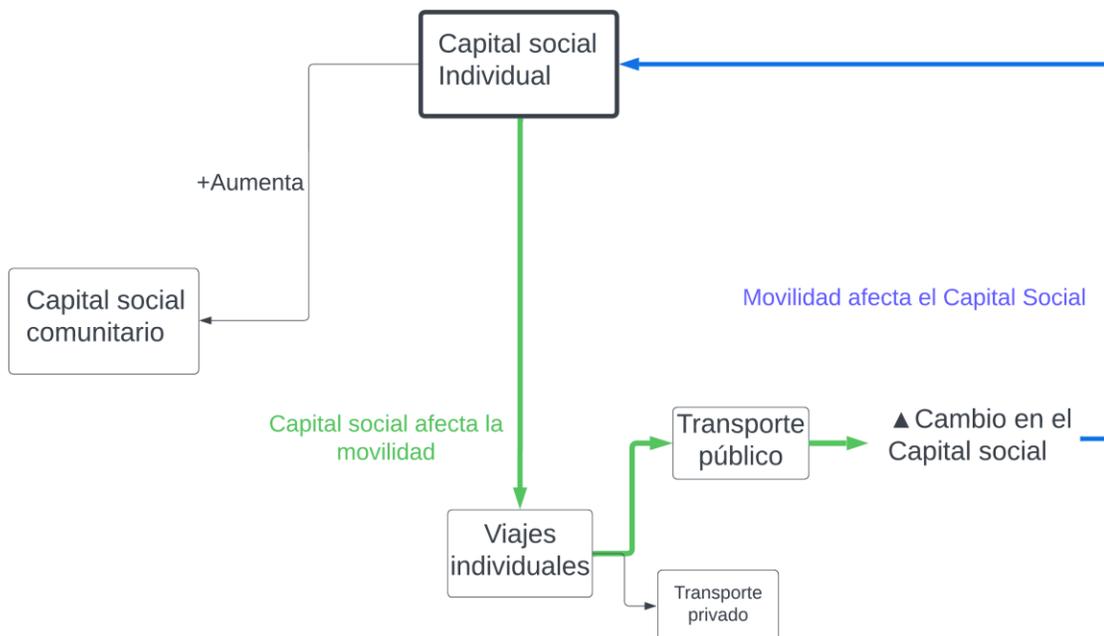
La hipótesis que postula la influencia positiva del Capital social asociado al viaje en la elección modal encuentra sólido respaldo en los valores presentados en la tabla 3-16. Estos confirman que el Capital social asociado al viaje tiene un impacto significativo en la probabilidad de elección del transporte público de manera positiva, al tener un valor positivo Beta, lo que sugiere que un aumento en esta variable incrementa la utilidad, contrario al signo negativo de las variables costo y tiempo.

El estudio ofrece una comprensión profunda de la interacción entre transporte, capital social y transformaciones urbanas, no solo desde la orientación conceptual sino de manera cuantificada, proporcionando un marco valioso para la planificación urbana sostenible y el diseño de sistemas de transporte público eficientes. Los resultados respaldan la importancia de considerar las dimensiones sociales (como el capital social) en las decisiones de movilidad y destacan el papel crucial de proyectos urbanos bien diseñados

en la construcción de comunidades cohesionadas y participativas. La investigación contribuye a la comprensión de la dinámica bidireccional entre el transporte público y el Capital social asociado al viaje, subrayando la importancia de inversiones en sistemas de transporte público de calidad para el desarrollo de comunidades urbanas más cohesionadas y participativas.

Todo lo anterior se puede representar en el siguiente gráfico de relaciones:

Diagrama 4-1: Relación bidireccional entre movilidad y capital social. Elaboración propia.



Relación entre Accesibilidad y Capital social asociado al viaje

La accesibilidad se refiere a la facilidad con la que las personas pueden alcanzar oportunidades y servicios esenciales. En el contexto urbano, un sistema de transporte público accesible permite a los individuos participar en actividades sociales, laborales y educativas, lo que es fundamental para la creación y el fortalecimiento del Capital social asociado al viaje. El capital social, definido como las redes, normas y confianza que facilitan la acción y cooperación para el beneficio mutuo, se nutre de la interacción social y la participación comunitaria.

Estudios como los de Narayan y Cassidy (2001) y Di Ciommo et al. (2014) indican que la movilidad eficiente a través del transporte público es un facilitador del capital social. Un sistema de transporte público accesible no solo mejora las oportunidades de empleo y

educación, sino que también permite una mayor participación en actividades comunitarias, culturales y recreativas, esenciales para la cohesión social.

Impacto de la Movilidad en el Capital Social

La metodología de componentes principales (PCA) aplicada a los datos de la encuesta de movilidad de Bogotá 2019 permitió identificar que la dificultad de acceso al transporte público está inversamente relacionada con el Capital social asociado al viaje. Esto implica que mejorar la accesibilidad al transporte público puede aumentar significativamente el Capital social asociado al viaje, al facilitar una mayor interacción social y participación comunitaria.

La inclusión del Capital social asociado al viaje en el modelo de elección discreta demostró una mejora en la precisión de la predicción de viajes, pasando del 91.57% al 92.24%. Esto sugiere que las decisiones de movilidad están estrechamente vinculadas con las dimensiones sociales del Capital social asociado al viaje. Un mayor Capital social asociado al viaje incrementa la utilidad percibida del transporte público, reflejándose en una mayor probabilidad de elegir este modo de transporte.

Efectos de la Movilidad en el Capital Social

El transporte público actúa como un espacio de interacción social. Las personas que utilizan el transporte público tienen más oportunidades de interactuar con otros miembros de la comunidad, lo que fortalece las redes sociales y la cohesión social. Este estudio demuestra que un sistema de transporte público bien diseñado no solo mejora la eficiencia del transporte urbano, sino que también contribuye al desarrollo de comunidades más cohesionadas y participativas.

Los resultados obtenidos subrayan la importancia de considerar las dimensiones sociales en las decisiones de movilidad. La accesibilidad al transporte público, al ser un indicador del Capital social asociado al viaje, destaca la necesidad de inversiones en sistemas de transporte público de calidad. Estas inversiones no solo deben enfocarse en la eficiencia y cobertura del transporte, sino también en su capacidad para fomentar la interacción social y fortalecer el Capital social asociado al viaje.

En conclusión, el estudio confirma que la accesibilidad al transporte público tiene un impacto significativo y positivo en el Capital social asociado al viaje. Un sistema de transporte público accesible y eficiente no solo facilita la movilidad, sino que también actúa como un catalizador para el desarrollo social, promoviendo la cohesión comunitaria y la participación ciudadana. La relación bidireccional entre movilidad y capital social es fundamental para el desarrollo de comunidades urbanas más cohesionadas y participativas, y debe ser un enfoque central en la planificación y diseño de sistemas de

transporte público. Este enfoque contribuirá significativamente a mejorar la calidad de vida urbana y a construir una sociedad más inclusiva y conectada.

5. Conclusiones

Se evidencia una inclinación hacia el uso del transporte público, influida por factores derivados de la accesibilidad al transporte público como el costo y el tiempo, la experiencia del viaje y demás características asociadas a las condiciones favorables de habitabilidad. Esto representa la consolidación de un mayor capital social, ya que una disposición mejorada hacia el uso del transporte público implica un beneficio social más amplio. En este sentido, las características del transporte público adquieren un papel crucial cuando están pensadas y diseñadas para fomentar y mejorar la movilidad. Este enfoque contribuye a más y mejores desplazamientos, mejorando también la accesibilidad y convirtiendo a estos espacios en entornos seguros y confiables. Además, esta mejora repercute en la percepción y apropiación de los espacios colectivos, estimulando positivamente la interacción social y ciudadana, aumentando precisamente el Capital social asociado al viaje.

Los resultados de los modelos de elección de máxima verosimilitud confirman una incidencia del Capital social asociado al viaje en la elección de transporte. Mayor capital social del viaje se traduce en una mayor disposición a elegir el transporte público. Así mismo, al utilizar el Capital social asociado al viaje como una de las variables de utilidad, se logra una mayor precisión en la predicción de los viajes.

Es importante también resaltar que, al mejorar el capital social individual a través de los viajes en transporte público, se puede inferir que cuando se tienen condiciones de transporte adecuadas y amigables con los ciudadanos, debido a que la utilidad aumenta, tal como se evidenció en el modelo de elección discreta con valor positivo de capital social en la ecuación de utilidad, se generará una migración de viajes al transporte público, impactando así en el capital social individual y contribuyendo al capital social comunitario.

Además, la accesibilidad, entendida como la facilidad de acceder a oportunidades y servicios a través de una movilidad eficiente, se convierte en un indicador clave del capital social asociado al viaje. La accesibilidad facilita interacciones y conexiones sociales, fortaleciendo la cohesión y confianza dentro de la comunidad. Así, la mejora en la accesibilidad a través del transporte público no solo tiene un impacto directo en la movilidad, sino que también actúa como un potenciador del capital social, proporcionando un entorno propicio para la interacción social y la construcción de redes comunitarias.

Esto permite afirmar que el proyecto del corredor verde de la carrera séptima al proveer una ampliación en la oferta del transporte público, además de garantizar corredores exclusivos para estos modos, reduciendo así los tiempos de viaje, tiempos de espera, tiempos de acceso y mejorado la percepción de los viajes, es un proyecto de transformación urbana que aporta de manera significativa al fortalecimiento del capital social en la comunidad. Al propiciar una movilidad más eficiente, accesible y segura, el proyecto no solo se limita a la mejora de la infraestructura urbana, sino que se erige como un catalizador que fomenta la interacción social y la participación ciudadana.

Se presenta una relación bidireccional de capital social y la elección de transporte, ya que niveles más altos de capital social se asocian con una mayor inclinación hacia el uso del transporte público. El viaje en sí actúa como un catalizador de capital social, permitiendo que al final del viaje se incremente su capital social, reforzando el proceso circular y aumentando el capital social general.

Las reflexiones presentadas en este trabajo hacen parte de un gran campo de trabajo e investigación, cada vez más relevantes en los estudios de transporte y movilidad urbana, que tradicionalmente han sido abordados de manera fragmentada por distintas disciplinas. Precisamente este trabajo expresa uno de los hallazgos de la investigación que se encuentra en desarrollo desde la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá en el marco del proyecto financiado con recursos del Sistema General de Regalías BPIN 2021000100275 en desarrollo en alianza con la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de los Andes y la Secretaría Distrital de Planeación.

A. Listado de anexos

- a. Anexo 1 Datos para modelo.
- b. Anexo 2 Modelo elección sin capital social.
- c. Anexo 3 Modelo elección con capital social.
- d. Anexo 4 PCA de capital social Excel.
- e. Anexo 5 PCA de capital social.
- f. Anexo 6 Validación Modelo sin capital social.
- g. Anexo 7 Validación Modelo con capital social.
- h. Anexo 8 Mapa de capital social ZAT origen y viajes relevantes.
- i. Anexo 9 Matrices de confusión

6. Bibliografía

- Alcaldía mayor de Bogotá. (2019). *Encuesta de percepción de riesgo vial en la ciudad de Bogotá 2019*. Bogotá.
- Bourdieu, P. (1998). *"Capital Cultural, Escuela y Espacio Social"*. México D.F.: Siglo XXI Editores, S.A. de C.V.
- Bourdieu, P. (1998). *Capital Cultural, Escuela y Espacio Social*. México D.F.: Siglo XXI editores, S.A. de C.V.
- Bourdieu, P. (1999). *"Efectos del Lugar" en "La miseria del mundo"*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Camacho Moreno, J. D. (2009). DESARROLLO URBANO DE CHAPINERO 1900-1930. Bogotá: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES.
- Cantillo García, V., Guzmán, L. Á., & Higuera Mendieta, D. (2020). Evaluating the influence of social capital on travel behaviour of urban users: The case of TransMiCable.
- Di Virgilio, M. (2011). La movilidad residencial: una preocupación sociológica. *Territorios* 25.
- Fernández L, R. C. (2023). Metodología de evaluación multidimensional de la accesibilidad a través del transporte público como expresión de la vulnerabilidad social en Bogotá.
- González Gómez, H. (2016). Participación ciudadana en el desarrollo de la localidad de Chapinero, Bogotá D.C. (2013-2014). *Departamento de Trabajo Social, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia*.
- Gutierrez. (2012). *¿Qué es la movilidad? Elementos para construir las definiciones básicas del campo de transporte*.

- Hansen, W. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*.
- Lucas, K., & Stanley, J. (2008). *Social exclusion: What can public transport offer? Research in Transportation Economics*, 22(1), 36–40. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2008.05.009>
- Ortúzar, J., & Willumsen, L. (s.f.). *Modelling Transport (4th Editio)*. Wiley.
- Osorio, M. S. (2018). LA CALIDAD DEL ESPACIO PÚBLICO INTERPRETAR E INTERVENIR EN EL CASO BOGOTÁ.
- Östh, J., Dolciotti, M., Reggiani, A, A., & Nijkamp. (2018). *Social Capital, Resilience and Accessibility in Urban Systems: a Study on Sweden. Networks and Spatial Economics*, 18(2), 313–336. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11067-017-9375-9>
- Restrepo, O. (2020). Bogotá, la ciudad con mayor percepción de inseguridad. Bogotá cómo vamos.
- Robinson, L. J., Shupp, R. S., Jin, S., Siles, M. E., & Ferrarini, T. H. (2012).). *The relative importance of selfishness and social capital motives. Journal of Socio-Economics* 41(1), 118–127. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.socec.2011.10.008>
- RODRÍGUEZ ROJAS, C. (2019). ¿GENTRIFICACIÓN EN CHAPINERO? UN ANÁLISIS A PARTIR DE LA MOVILIDAD RESIDENCIAL EN LA LOCALIDAD ENTRE LOS AÑOS 2012 Y 2017. *PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, Facultad de Ciencias Sociales*.
- Rodríguez Rojas, C. E. (2019). ¿GENTRIFICACIÓN EN CHAPINERO? UN ANÁLISIS A PARTIR DE LA MOVILIDAD RESIDENCIAL EN LA LOCALIDAD ENTRE LOS AÑOS 2012 Y 2017. Bogotá: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Facultad de Ciencias Sociales.
- Ruiz Solano, J. R. (2017). Impactos sociales del proceso de gentrificación en barrios de origen informal. Caso de la localidad de Chapinero, Bogotá. *Revista Ciudades, Estados y Política. Universidad Nacional de Colombia*, 22-25.
- Ruiz, C. (2021). Presente y Futuro de la Movilidad en el Plan de Ordenamiento Territorial en Bogotá. <https://pensarlaciudad.udistrital.edu.co/miradas-de-ciudad/presente-y-futuro-de-la-movilidad-en-el-pot>.
- Stanley , J., & Hensher, D. (2012). *Mobility, Social Capital and Sense of Community: What Value? Urban Studies*, 49(16), 3595–3609. Obtenido de <https://doi.org/10.1177/0042098012447002>

-
- Stanley, J., & Vella-Brodrick, D. (2009). *The usefulness of social exclusion to inform social policy in transport*. *Transport Policy*, 16(3), 90–96. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.02.003>
- Stanley, J., & Vella-Brodrick, D. (2010). The place of transport in facilitating social inclusion via the mediating influence of social capital. *Research in Transportation Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2010.07.035>. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2010.07.035>
- Universidad Nacional de Colombia, Universidad de los Andes y Secretaría Distrital de Planeación. (2022). BPIN 2021000100275 "Desarrollo y diseño de métodos de inteligencia artificial y ciencia ciudadana para evaluar las transformaciones urbanas con el fin de tener una ciudad más sostenible, accesible y habitable en Bogotá".