



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DE LA INCORPORACIÓN DE PRINCIPIOS DE
JUSTICIA DE TRANSPORTE EN LA EVALUACIÓN DE
PROYECTOS FERROVIARIOS EN EL CONTEXTO CHILENO**

POR

HANS SEBASTIÁN WERNER FERIS

Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de
Concepción para optar al grado académico de Magíster en
Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Civil

Julio, 2024
Concepción, Chile

Profesor Guía: Dr. Juan Carrasco Montagna
Departamento de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de Concepción

© 2024 Hans Sebastián Werner Feris

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Juan Carrasco, por guiar este proceso con sabiduría, excelencia y calidez.

A mis profesores y al equipo administrativo del Programa. A todos quienes trabajan para que personas como yo puedan aprender sobre lo que les apasiona.

A la Facultad de Ingeniería y a la Dirección de Postgrado de la Universidad de Concepción por su apoyo constante. En especial, por permitirme presentar este trabajo en la *2024 World Symposium on Transport and Land Use Research* en Bogotá, Colombia.

A Giovanni Vecchio e Ignacio Tiznado-Aiken, por dedicar su tiempo, compartir sus conocimientos y realizar valiosos aportes a esta investigación.

A la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) por su apoyo mediante el Fondecyt Regular 1201362. Al Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, CEDEUS (ANID/FONDAP/1523A0004).

A la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, en especial a los profesionales que acompañaron este proceso: Arnoldo Tapia, Carlos Téllez, Cristian González, Valentina Fuentes, Felipe Parada, Carlos Mella y Ricardo Montecino.

A mi familia y amigos, que han estado y estarán siempre conmigo.

A Loreto, amor de mi vida y compañera de ruta.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	IX
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. MOTIVACIÓN	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. HIPÓTESIS	2
1.4. ALCANCES	2
1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	3
1.6. PRINCIPALES RESULTADOS Y CONCLUSIONES	4
1.7. ORGANIZACIÓN.....	5
CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE.....	6
2.1. EVALUACIONES DE PROYECTOS DE TRANSPORTE	6
2.2. JUSTICIA DE TRANSPORTE	8
2.3. EQUIDAD EN EL TRANSPORTE	11
2.4. ACCESIBILIDAD.....	15
CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. CASO DE ESTUDIO	17
3.2. PROPUESTA METODOLÓGICA	20
CAPÍTULO 4 RESULTADOS.....	34
4.1. ESCENARIO BASE	34
4.2. ESCENARIOS CON PROYECTOS	38

4.3. LAS PERSONAS BENEFICIADAS	41
4.4. UMBRALES DE SUFICIENCIA	44
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES.....	47
5.1. CONCLUSIONES.....	47
5.2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA	48
REFERENCIAS	51

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Principales características de los proyectos de trenes suburbanos en Santiago, Chile.....	20
3.2	Resultados del modelo de regresión logística binomial para la estimación de tenencia de vehículo a nivel de hogar a partir de SECTRA (2015). ..	24
3.3	Porcentaje de tenencia vehicular observado y modelado por nivel de ingresos.	25
3.4	Caracterización de los grupos identificados en la Región Metropolitana.	25
3.5	Caracterización de las oportunidades identificadas en la Región Metropolitana.	27
3.6	Valores de tiempo de viaje promedio en minutos hacia cada tipo de oportunidad basado en datos de diarios de viaje	29
4.1	10 grupos con mayor AFI en el escenario base y el cambio producto de la implementación de proyectos.	43
4.2	10 comunas con más población que alcanzan los umbrales de suficiencia (AUS) dada la implementación de proyectos de trenes suburbanos en Santiago.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

3.1	Región Metropolitana con sus divisiones comunales y límite urbano (arriba) y el Gran Santiago con su red ferroviaria y su caracterización socioeconómica (abajo).	18
3.2	Diagrama de flujo de la metodología empleada.	21
4.1	Accesibilidad a diferentes tipos de oportunidades según modo de transporte disponible en el escenario base.	35
4.2	Diferencia en puntaje de accesibilidad entre el transporte público y automóvil en el escenario base.	36
4.3	Accesibilidad (eje y) y Movilidad Potencial (eje x) para cada grupo de la población. Líneas negras indican los umbrales de suficiencia de cada indicador.	37
4.4	Contribución del AFI de cada grupo de la población al AFI de la región según modo de transporte.	39
4.5	Valor del AFI para cada tipo de oportunidad en cada escenario.	41
4.6	Evolución de AFI por escenario de proyecto al utilizar umbrales comunales de accesibilidad y potencial de movilidad de grupos con acceso a automóvil ponderados por población	45

RESUMEN

El creciente interés en la literatura sobre justicia y equidad en el transporte ha impulsado la necesidad de desarrollar metodologías específicas de evaluación. Este estudio tiene como objetivo proponer una metodología integral para evaluar los principios de justicia en proyectos de transporte, aplicándola a un caso de estudio ferroviario en Chile.

Tras caracterizar a la población de la Región Metropolitana en grupos según nivel de ingresos, medios de transporte disponibles y zona censal, y calcular indicadores de justicia de accesibilidad para distintos tipos de oportunidades en la región, el estudio concluye que los proyectos ferroviarios Santiago – Batico y Santiago – Melipilla contribuyen a mejorar la justicia de transporte en la Región Metropolitana, otorgando beneficios de accesibilidad a quienes tienen más derecho a recibirlos. Son necesarios estudios adicionales para determinar valores críticos que debieran ser exigidos en caso de incorporar principios de justicia en el actual proceso de evaluación de proyectos de transporte en Chile.

Este trabajo representa una contribución a la literatura, siendo, hasta lo que se sabe, la primera experiencia documentada que intenta incorporar los principios de justicia desarrollados por Martens (2017) en el contexto de proyectos de transporte específicos. Se destaca la importancia de estandarizar procesos críticos, como la obtención de datos, la caracterización de grupos y oportunidades, y la determinación de umbrales de suficiencia adecuados.

La metodología propuesta avanza en la comprensión teórica de la justicia en el transporte y proporciona una herramienta práctica para evaluadores y planificadores. Al establecer procedimientos claros, este enfoque puede apoyar decisiones críticas en la planificación y ejecución de proyectos de transporte, promoviendo así un enfoque más equitativo y justo en el desarrollo de infraestructuras ferroviarias en Chile.

ABSTRACT

The growing interest in the literature to address justice and equity in transportation has spurred the need for specific evaluation methodologies. This study proposes a comprehensive methodology for incorporating justice principles in evaluating transportation projects applying it to a railway case study in Chile. The proposal seeks to measure the impact of the implementation of specific projects on regional transport justice.

After characterizing the population of the Metropolitan Region into groups based on income level, available transportation modes, and census zone, and calculating accessibility justice indicators for different types of opportunities in the region, the study concludes that Santiago – Batico and Santiago – Melipilla rail projects contribute to improving transportation justice in the Metropolitan Region by granting accessibility benefits to those who are most entitled to receive them. Additional studies are necessary to determine critical values that should be required in case of incorporating principles of justice in the current evaluation process of transportation projects in Chile.

This work represents a contribution to the literature, being, as far as is known, the first documented experience attempting to incorporate justice principles developed by Martens (2017) in the context of specific transport projects. Standardizing critical processes, such as data acquisition, group, and opportunity characterization, and determining appropriate sufficiency thresholds is emphasized.

The proposed methodology advances the theoretical understanding of justice in transportation and provides a practical tool for evaluators and planners. By establishing clear guidelines, this approach can inform critical decisions in the planning and execution of transportation projects, thus promoting a more equitable and just approach to the development of railway infrastructure in Chile.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

El desarrollo sostenible ha cobrado relevancia en la agenda internacional desde principios de los años 1990, integrando preocupaciones ambientales, económicas y sociales. La industria del transporte ha recibido especial atención debido al rol clave que presenta para alcanzar un desarrollo sostenible. Sin ir más lejos, en Chile, más del 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen del transporte (Ministerio del Medio Ambiente, 2020), lo que ha motivado adoptar compromisos internacionales en la materia y generar múltiples políticas y estrategias en el país, como la recientemente presentada Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible (MTT, 2022).

Mientras las dimensiones económica y ambiental del transporte han sido ampliamente investigadas en el ámbito académico, ejerciendo una considerable influencia sobre las políticas y prácticas de transporte a nivel global (Jones & Lucas, 2012), hasta hace algunos años la dimensión social (también denominada justicia social) estaba separada del debate sobre la sostenibilidad en el transporte, siendo escasas las iniciativas que intentaran abordar, por ejemplo, las disparidades de movilidad entre grupos de población (Martens, 2006).

Los impactos relacionados con la dimensión social del transporte son difíciles de definir y medir (Manaugh et al., 2015). En Chile, las metodologías actuales de evaluación de proyectos de transporte presentan dificultades en reconocer y valorar diferencias en accesibilidad entre grupos de la población, no pudiendo priorizar iniciativas destinadas especialmente para aquella parte de la población que requiere, con mayor prontitud, la implementación de mejoras en movilidad. En este contexto, entregar antecedentes y herramientas que permitan medir de

manera efectiva los impactos en términos de justicia social en las evaluaciones de proyectos de transporte y así contribuir al desarrollo sostenible, es el objeto de esta investigación.

1.2. Objetivos

El objetivo de esta tesis es proponer una metodología que permita evaluar los principios de justicia de proyectos de transporte y aplicarla a un caso de estudio ferroviario en el contexto chileno. Para dar cumplimiento a este objetivo general, se presentan a continuación tres objetivos específicos:

1. Caracterizar los principios de justicia aplicables a un proyecto de transporte.
2. Identificar indicadores, criterios y requisitos de información que permitan evaluar los principios de justicia de un proyecto de transporte.
3. Aplicar la metodología propuesta a un caso de estudio ferroviario chileno.
4. Evaluar la validez de la metodología desarrollada y formular recomendaciones específicas para su aplicación futura.

1.3. Hipótesis

La hipótesis de esta investigación es la siguiente: Incorporar principios de justicia en las evaluaciones de proyectos de transporte permite evidenciar y cuantificar las brechas de accesibilidad de diversos grupos de la población e identificar si nuevos proyectos logran reducirlas.

1.4. Alcances

La propuesta metodológica fue aplicada en la Región Metropolitana de Santiago y evalúa dos proyectos suburbanos ferroviarios: el tren Santiago – Bатуco y el tren Santiago – Melipilla. Para ello, se utilizan datos y modelos de la Empresa de

los Ferrocarriles del Estado (EFE), los cuales fueron obtenidos mediante ESTRAUS, una herramienta de predicción diseñada para establecer un equilibrio simultáneo entre la oferta y la demanda, basada en las cuatro etapas del modelo clásico de transporte (De Cea et al., 2005). Dicho instrumento fue previamente calibrado por SECTRA (2019) con la Encuesta Origen Destino Santiago 2012 (SECTRA, 2015).

La evaluación se realiza únicamente para el año 2028, en el periodo punta mañana, para el horario entre las 7:00 y las 8:00 horas. Para ello, las oportunidades caracterizadas en el área de estudio se asumieron constantes para dicho corte temporal y no se contemplaron disponibilidades de plazas en cada una de ellas.

1.5. Metodología de trabajo

Utilizando como referencia la metodología generada por van der Veen et al. (2020), en la que se operativiza un indicador de equidad basado en el trabajo teórico de Martens (2017) para diagnosticar la ciudad de Rotterdam, Países Bajos, esta investigación calcula la variación en términos de justicia de transporte para la Región Metropolitana de Santiago que tiene la puesta en marcha de los dos servicios ferroviarios bajo análisis. Para ello, se establecen siete tareas claves:

1. Caracterizar grupos de la población en base al Censo de Población y Vivienda (INE, 2017) y la utilización de un modelo de regresión logística binomial para estimar la tenencia de automóvil a nivel de hogar.
2. Identificar oportunidades en la ciudad mediante diversas fuentes de información.
3. Calcular indicadores de accesibilidad y movilidad potencial para los grupos identificados para el escenario base.

4. Repetir la tarea anterior para los otros escenarios: con proyecto Santiago – Bатуco, con proyecto Santiago – Melipilla y con ambos proyectos.
5. Establecer umbrales de suficiencia para los indicadores utilizados.
6. Medir la justicia de transporte en la región para todos los escenarios mediante el Indicador de Justicia de Accesibilidad (AFI, por su sigla en inglés) y finalmente;
7. Analizar el impacto de cada proyecto en la justicia del transporte en la región.

1.6. Principales resultados y conclusiones

Los proyectos Santiago – Bатуco y Santiago – Melipilla contribuyen a mejorar la justicia de transporte en la ciudad, otorgando beneficios de accesibilidad a quienes tienen más derecho a recibirlos. Son necesarios estudios adicionales para determinar valores críticos que debieran ser exigidos en caso de incorporar principios de justicia en el actual proceso de evaluación de proyectos de transporte en Chile.

Al considerar el cambio que genera cada proyecto en el AFI de la región, Santiago – Melipilla exhibe casi cuatro veces (3,84x) más impacto que el proyecto Santiago – Bатуco, siendo también más costo-efectivo. En total, con la implementación del proyecto Santiago – Bатуco, 265.209 personas alcanzan los umbrales de suficiencia, mientras que con el proyecto Santiago – Melipilla, 286.836 personas. Una formulación de un indicador de similares características del AFI podría proporcionar más información sobre las posibles desigualdades en la accesibilidad que podría introducir un proyecto de transporte.

Este estudio representa una contribución a la literatura al ser, hasta lo que se conoce, la primera experiencia documentada que evalúa proyectos de transporte específicos bajo los principios de justicia para el diseño de sistemas de transporte justo propuestos por Martens (2017). El caso de estudio analizado es de

particular interés debido a la menor atención académica que han recibido los proyectos de trenes suburbanos en el contexto latinoamericano.

El principal desafío al que se enfrenta la aplicación de la metodología propuesta gira en torno a la disponibilidad de datos, especialmente respecto a la información a nivel de hogar, como la caracterización socioeconómica y la disponibilidad de modos de transporte. Estandarizar los procedimientos utilizados en esta metodología para superar el problema de la disponibilidad de datos resulta fundamental para avanzar en la incorporación de principios de justicia en las evaluaciones de proyectos de transporte en Chile. Finalmente, alejarse del enfoque pragmático utilizado en este trabajo e identificar umbrales de suficiencia para la accesibilidad y la movilidad potencial aceptables para profesionales, políticos y la ciudadanía se convierte en una tarea clave.

1.7. Organización

Esta tesis consta de cinco capítulos. En el Capítulo 2 se realiza una revisión bibliográfica en torno a las evaluaciones de proyectos de transporte y a los conceptos de justicia, equidad y accesibilidad.

En el Capítulo 3 se detalla la metodología utilizada en esta investigación, identificando los indicadores, criterios y requisitos de información que permiten evaluar los principios de justicia de un proyecto de transporte.

En el Capítulo 4 se exponen y analizan los principales resultados de la investigación, poniendo énfasis en el impacto que presentan la incorporación de principios de justicia en las evaluaciones de proyectos ferroviarios en Chile.

Finalmente, en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones de este estudio y se proponen líneas de investigación futuras.

CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE

Con el objetivo de comprender y caracterizar los principios de justicia aplicables a proyectos de transporte, se presenta a continuación una revisión bibliográfica sobre las evaluaciones de estos proyectos y de tres conceptos claves: justicia, equidad y accesibilidad.

2.1. Evaluaciones de proyectos de transporte

En la evaluación de proyectos de transporte, el análisis costo beneficio (ACB) ha prevalecido como la herramienta central para cuantificar los impactos financieros, sociales y ambientales de proyectos. En Chile, la actual metodología de evaluación de proyectos utiliza el ACB sustentada en la teoría de bienestar, la cual señala que la variación del bienestar social en un proyecto está dada por la variación en el consumo (o en el beneficio de los individuos) multiplicado por un factor que representa el bienestar marginal del consumo (Contreras, 2004). Esta teoría tiene dos enfoques conocidos. Por un lado, el enfoque de ahorro de recursos (o “de eficiencia”) prioriza resolver la necesidad observada al mínimo costo al considerar la utilidad percibida por los individuos igual al bienestar social (Harberger, 1971). Lo anterior significa que en aquellos lugares con mayor consumo existirá una mayor rentabilidad social. Por otro lado, un enfoque alternativo, distributivo, no asume la utilidad percibida por los usuarios igual al bienestar social, pudiendo existir un bienestar marginal del consumo diferente entre grupos de la población (Harberger, 1984). Si bien en Chile se ha propuesto implementar el enfoque distributivo con el objetivo de evitar soluciones de mínimo costo en aquellas localidades rezagadas o con concentración de bajos ingresos (Herrera, 2018), el enfoque de ahorro de recursos es el que mayoritariamente se utiliza para evaluar los proyectos de inversión pública mediante el análisis costo beneficio.

Con el paso del tiempo, múltiples estudios han arrojado luces sobre las limitaciones del ACB. La literatura revela deficiencias significativas en términos de equidad en este tipo de herramientas, generando la necesidad de explorar enfoques complementarios (Martens, 2011; Pereira et al., 2017; van Wee, 2011). La identificación de costos no considerados de los proyectos y la falta de atención de múltiples impactos no medidos también han sido aspectos destacados en la literatura (Hickman & Dean, 2018; Zhou et al., 2022; Guzman et al., 2023).

Sin embargo, los problemas no se reportan únicamente respecto al análisis de los costos. La sistemática estimación inexacta y parcial de beneficios mediante el ACB, mayormente asociados a ahorros de tiempos de viaje, también ha sido relevada (Flyvbjerg & Bester, 2021). Esta imprecisión en la evaluación financiera puede conducir a decisiones subóptimas y, en última instancia, a la implementación de proyectos que no maximizan los beneficios sociales y perpetúan desigualdades en la distribución de impactos positivos. Incluso, Metz (2008) concluye que se debería reconsiderar la evaluación de proyectos de transporte basados en la valorización de los ahorros de tiempo de viaje, en atención a que, en el largo plazo, los tiempos de traslado promedios se mantienen constantes, pese a los múltiples proyectos de infraestructura aprobados bajo esta metodología. Ahondando aún más en las falencias, Martens y Di Ciommo (2017), estudiaron los impactos en equidad que presenta el uso de los ahorros de tiempo en el análisis costo beneficio. En esa investigación, los autores concluyen que el simple reemplazo de los tiempos de viaje por “ganancias en accesibilidad” no termina de corregir los cinco efectos en equidad que presenta, a su juicio, el marco conceptual del análisis costo-beneficio.

A pesar de su aplicación global, el ACB no es la única herramienta para la evaluación de proyectos de transporte. El análisis multicriterio, la evaluación del ciclo de vida y la evaluación del ciclo de vida social, junto con enfoques emergentes como la sostenibilidad y consideraciones de equidad, complementan

las técnicas tradicionales (Tudela et al., 2006; Thomopoulos et al., 2009; Bueno et al., 2015; Niehaus et al., 2016). Sin embargo, la creciente importancia de la justicia y equidad en el transporte (ver, por ejemplo, Martens, 2006; Lucas, 2006; Martens et al., 2014; Martens, 2017; Sheller, 2018; Pereira & Karner, 2021) demanda estrategias más profundas y específicas para evaluar la distribución de beneficios de accesibilidad entre la población (Lucas et al., 2019).

La ausencia de herramientas adecuadas para evaluar el aporte de un determinado proyecto a la justicia de transporte limita la capacidad de los planificadores y responsables de la toma de decisiones. La deficiencia radica en la falta de mecanismos para traducir nociones o principios de justicia en indicadores concretos. Esto se ve agravado por una insuficiencia de datos que posean el rigor, la regularidad y la transparencia necesarios, esenciales para un análisis exhaustivo en la formulación de soluciones políticas eficaces (Lucas, Mattioli, et al., 2016).

Para lograr una comprensión global de la necesidad de medir y buscar mayor justicia de transporte en una ciudad, es necesario el consenso o la definición normativa de una amplia comunidad (Páez et al., 2012; Pereira & Karner, 2021). Para promover dicha comprensión, se propone a continuación una revisión bibliográfica de tres conceptos claves: justicia, equidad y accesibilidad.

2.2. Justicia de transporte

Si bien la distinción explícita entre justicia y equidad en el transporte no es común en la literatura académica (Pereira et al., 2017), Pereira y Karner (2021) introducen el término de equidad en el transporte asociando ese concepto a una idea aún más amplia: la justicia de transporte. A juicio de los autores, la justicia de transporte consta de tres componentes esenciales que influyen en la configuración y aplicación de los sistemas de transporte: democracia, diversidad y equidad. La atención por la democracia se refiere a la justicia en los procesos

políticos vinculados a la participación en la toma de decisiones, mientras que la consideración de la diversidad implica debates constantes sobre qué derechos deben ser reconocidos y resguardados. En cuanto a la preocupación por la equidad, los autores la relacionan con la manera en que las instituciones y reglas que rigen la sociedad configuran las desigualdades sociales y económicas entre sus miembros. Además de esta concepción procesal y distributiva de la justicia, Martens y Golub (2021) introducen el estándar de justicia restaurativa, que se define como el compromiso de garantizar que las comunidades históricamente desfavorecidas reciban beneficios sustancialmente más significativos que la población mayoritaria. Este enfoque tiene como objetivo rectificar las injusticias pasadas durante un período prolongado.

En materia de justicia distributiva, Martens (2017) presenta un enfoque que explora el concepto de justicia en el transporte enfatizando el papel fundamental de los sistemas de transporte en la vida de las personas. Basado en la teoría de justicia social de “esferas de justicia” de Walzer (1983), la cual identifica una amplia gama de bienes con significado socialmente construido, Martens (2012) argumenta un significado social del bien del transporte que, al igual que las funciones que desempeñan los sistemas de salud o educación, deben tener su propia “esfera de distribución”, distintas al libre mercado, velando por ampliar la capacidad de acceder a oportunidades y, en última instancia, aumentar la libertad de las personas. Entre los principios de justicia aplicables al transporte, Martens (2012) ha destacado los principios de igualdad, maximax¹ y, en menor medida, el principio de necesidad y el de mérito. Sin embargo, tras recorrer las teorías filosóficas de justicia de Walzer, John Rawls y Amartya Sen, Martens basa su

¹ El principio maximax busca maximizar el nivel promedio de accesibilidad, imponiendo una restricción en el rango entre los valores más altos y bajos de accesibilidad experimentados por la población.

teoría de justicia en el transporte en la teoría de igualdad de recursos de Dworkin (2000) del cual adopta dos principios liberales éticos (Vanoutrive & Cooper, 2019). El primero se denomina el principio de igual importancia que Dworkin (2000, p. 5) describió como “es igualmente importante que cada vida humana tenga éxito y no se desperdicie y es igualmente importante para cada vida humana”. El segundo es el principio de responsabilidad especial, el cual señala que recae sobre la persona a quien pertenece esa vida alcanzar la prosperidad (Dworkin, 2000, p. 5). Sin embargo, reconociendo que el éxito de la vida depende de imponderables (que denomina simplemente como “suerte”), Martens reinterpreta ambos principios y establece dos dominios respecto de los cuales un sistema de transporte debiese descansar: el de la justicia (el cual atiende a individuos con particular “mala suerte”) y el del libre mercado (que recoge directamente los principios antes comentados). De esta forma, concluye que “un sistema de transporte justo proporciona a todas las personas un nivel suficiente de accesibilidad en la mayoría de las circunstancias, pero no en todas” (Martens, 2017, p. 215). Para implementar este sistema de transporte justo releva dos enfoques filosóficos de distribución de beneficios en el contexto de la planificación del transporte basado en principios de justicia, como lo son el suficientismo y prioritarismo. Ambos enfoques serán analizados con mayor detención en el contexto de la revisión del concepto de equidad en el transporte.

Si bien la visión propuesta por Martens es valiosa, no representa un consenso. Vanoutrive y Cooper (2019) han destacado el paternalismo asociado a la visión respecto a quienes se encuentran en el dominio de la justicia de Martens y el excesivo individualismo en la consideración del “bien transporte” en el dominio del libre mercado. Por otro lado, Sheller (2018), aun considerando el carácter distributivo de la justicia que utiliza, considera que el enfoque de Martens limita su análisis al diseño urbano y de políticas de transporte, sin profundizar en las raíces de la inequidad en la movilidad. Además, critica la adopción de supuestos fuertes, como la predominancia de gobiernos benevolentes y preocupados por la

equidad, la participación de minorías en la toma de decisiones y que los cambios en el transporte no alteran la estructura urbana ni las jerarquías sociales. En contraste, Sheller (2018) propone el término de justicia de la movilidad para representar un concepto político y relacional, que va más allá de la justicia de transporte para incluir la justicia espacial, deliberativa, procesal, restaurativa y epistémica a través de un enfoque anidado. Uno de los argumentos centrales de Sheller es que cómo, cuándo y dónde se mueven las personas, los bienes y el capital es una cuestión política y moral, además de tecno-material (Mladenović, 2020).

Ciertamente, la incorporación del concepto de justicia modifica la planificación de transporte tradicional, cuyo principio distributivo corresponde al principio de la demanda (Martens, 2017). Pese al desarrollo de múltiples métodos y herramientas de evaluación presentes en la literatura (ver Lucas et al., 2019), la planificación del transporte público basada en la demanda persiste. Una investigación de Sunio et al. (2023) profundiza en este fenómeno desde la teoría de la práctica social, explorando explícitamente los desafíos de la transición de paradigmas en la región de Bisayas Occidentales en Filipinas. El estudio examinó el proceso de planificación del transporte, abarcando materiales, significados y competencias: los "elementos de la práctica". Los hallazgos subrayaron la naturaleza arraigada de la planificación basada en la demanda en todas estas dimensiones, creando efectos que se refuerzan mutuamente. Los autores atribuyen la persistencia de este paradigma a su institucionalización, destacando la necesidad de cambios integrales en cada elemento de la práctica que permitan avanzar hacia un proceso de planificación que coloque la equidad en el centro.

2.3. Equidad en el transporte

Si bien existe cierto acuerdo común acerca de la definición de equidad en el ámbito del transporte, menos consenso existe en torno a los métodos adecuados

para evaluar la distribución de los beneficios sociales relacionados con el transporte. Por ejemplo, Martens (2011) define la equidad como "la distribución moralmente adecuada de bienes y males entre los miembros de la sociedad". De manera similar, la equidad en el transporte puede entenderse como la forma en que se distribuyen los beneficios (por ejemplo, mejoras de accesibilidad) y los costos del transporte, considerando simultáneamente a quienes obtienen ventajas y a quienes experimentan cargas (Pereira & Karner, 2021). Sin embargo, especificar el método para distribuir las mejoras sociales, como las generadas por los proyectos de transporte, demuestra ser una tarea no trivial. La importancia de seleccionar un marco ético específico se subraya en un estudio reciente de Amorin y Silva (2024) sobre un proyecto de metro en Lisboa, Portugal. La investigación señala diversas recomendaciones sobre la construcción de proyectos, las cuales varían dependiendo de las teorías éticas empleadas.

Como lo detallan Pereira et al. (2017), abordar la distribución de la justicia en el transporte implica adoptar teorías éticas. Entre los enfoques distributivos más conocidos se encuentran el igualitarismo (que aboga por una distribución equitativa de beneficios para todas las personas), el utilitarismo (la base del ACB, que se centra en maximizar el bienestar social independientemente de la distribución entre los individuos), el suficientismo (que se centra en aquellos que no alcanzan un nivel suficiente de beneficios), y el prioritarismo (que prioriza a quienes están en peores condiciones), entre otros.

En la base teórica de Martens (2017), estos dos últimos, el suficientismo y el prioritarismo, logran conjuntamente una respuesta al problema de la ponderación de los beneficios, pudiendo otorgarlos en función de la posición del individuo en el espectro distributivo, permitiendo abordar de mejor manera las críticas asociadas a la definición de un umbral de suficiencia.

Para el ámbito específico del transporte, la propuesta de Martens implica una clasificación de los distintos grupos de la población en términos de sus niveles de accesibilidad. De esta manera, quienes no alcanzan el nivel de accesibilidad suficiente, ingresan al dominio de la justicia y por tanto deben recibir la atención de las autoridades para la entrega de beneficios en accesibilidad. De modo análogo, las personas que alcanzan y superan niveles de accesibilidad suficientes, entran al dominio del libre mercado, de forma tal que “cuanto mayores sean los niveles actuales de accesibilidad de un grupo, menor será el valor atribuido a los beneficios de accesibilidad obtenidos por ese grupo” (Martens, 2017, p. 171).

Es en este marco teórico que Martens propone las “reglas” de la planificación del transporte basadas en principios de justicia, las cuales fueron puestas en práctica por van der Veen et al. (2020) para diagnosticar la ciudad de Rotterdam. Mediante la implementación del indicador denominado Indicador de Justicia de Accesibilidad (AFI, por su sigla en inglés) propuesto por Martens (2017), se evaluó la justicia en el acceso a oportunidades para diferentes grupos de la población. Esta aplicación a una ciudad específica generó una base sólida para identificar el impacto en términos de justicia que supone la implementación de proyectos de transporte específicos, motivando la propuesta metodológica que se presentará en la sección 3.2.

Dada la ausencia de un enfoque de evaluación único, la equidad en el transporte constituye un desafío importante para la planificación urbana (Litman, 2022). Este desafío se refleja en la diversidad de acciones, impactos, grupos (partes interesadas, particularmente grupos desfavorecidos) y métricas que deben ser considerados en este contexto. La literatura existente ofrece varios indicadores para medir la equidad en el transporte. Por ejemplo, Lucas et al. (2016) proponen un enfoque que combina principios éticos con indicadores cuantitativos para evaluar impactos socialmente relevantes en la accesibilidad, incluidas las curvas

de Lorenz y el índice de Gini. Por el contrario, Nazari Adli y Donovan (2018) presentan un coeficiente de correlación como una "prueba de justicia" en un estudio de caso en Auckland, Nueva Zelanda, argumentando sus ventajas sobre el índice de Gini. Bruzzone et al. (2023) proporcionan un compendio de indicadores de equidad para evaluar los trenes de alta velocidad en el ámbito ferroviario. La utilización de estos indicadores tiene el potencial de ayudar a seleccionar la solución territorial más adecuada.

Se han aplicado indicadores similares de equidad en el transporte en varios contextos, incluida América del Sur (Guzman et al., 2017; Pereira, 2019), donde los autores han comparado ciudades con características similares pero en contextos urbanos diferentes. Un enfoque interesante es el de Humberto (2023), quien, basándose en diferentes encuestas de Origen Destino, propuso métricas de justicia para evaluar la igualdad, el suficientismo y el prioritarismo con respecto al tiempo de viaje, la energía, las emisiones de óxidos de nitrógeno y material particulado. Sus hallazgos evidencian la pluralidad de resultados que se pueden obtener dada una teoría de la justicia, las métricas elegidas y el contexto bajo análisis.

En Chile, Niehaus (2016) propuso herramientas para medir la accesibilidad y la equidad, mejorando así el análisis de proyectos de movilidad urbana. A su vez, al aplicar las medidas de pobreza de Foster-Greer-Thorbecke (FGT) propuestas por Foster et al. (1984) al sector transporte, Tiznado-Aitken et al. (2018) analizaron la proximidad a las paradas de transporte público y el entorno urbano para caminar en Santiago de Chile, sugiriendo prioridades de políticas públicas destinadas a mejorar la accesibilidad al transporte público y fomentar el cambio modal. Sin embargo, a pesar de estas aplicaciones, los avances en las investigaciones parecen tener un impacto limitado en las políticas urbanas relacionadas con la movilidad de las personas (Tiznado-Aitken et al., 2023).

Más recientemente, Karner et al. (2024) analizan las preocupaciones fundamentales de la medición de la equidad en el transporte, específicamente la accesibilidad desigual y la pobreza de accesibilidad. Estas disparidades se evalúan utilizando enfoques alternativos que superan las limitaciones asociadas con las curvas de Lorenz y los coeficientes de Gini, las cuales se centran en la igualdad en lugar de la equidad y demuestran dificultades para verificar si las desigualdades en accesibilidad se concentran entre los grupos más desfavorecidos. En este contexto, los autores examinan tres métricas que han sido menos adoptadas en la literatura, explorando a fondo sus fortalezas y debilidades: el índice de Theil, el índice de Palma y el índice de concentración. Al aplicar estos indicadores para analizar los recortes de servicios durante la pandemia de COVID-19 en Washington, DC, los investigadores observaron conclusiones variadas según el indicador utilizado. Sin embargo, en medio de esta variabilidad, los indicadores FGT, que se ajustan mejor a las preocupaciones de suficiencia, revelaron consistentemente una mayor pobreza de accesibilidad en todos los deciles de ingresos después de los recortes de servicios.

2.4. Accesibilidad

Desde la introducción del concepto de accesibilidad por Hansen (1959), múltiples autores han contribuido con definiciones y métodos de medición. La noción de "accesibilidad a oportunidades" ha emergido como un concepto integral que engloba diversas componentes, como la individual, temporal, de transporte y de uso de suelo (Geurs & van Wee, 2004).

El surgimiento del "enfoque de capacidad" inicialmente propuesto por Amartya Sen y posteriormente ampliado por Martha Nussbaum (Nussbaum, 2000, 2011; Nussbaum & Sen, 1993; Sen, 1985, 1999, 2009), ha generado un interés creciente en la literatura de transporte. Vecchio & Martens (2021) exploran este enfoque, destacando sus oportunidades y desafíos para la planificación del

transporte. Al poner énfasis en la libertad de elegir el estilo de vida, el "enfoque de capacidad" vincula la "accesibilidad" con la "capacidad" de las personas, ya que, como señala Martens (2017, p. 136), "un mayor nivel de accesibilidad implica más opciones; una disminución en la accesibilidad implica inevitablemente una disminución en la elección".

La relación entre justicia distributiva y accesibilidad se ha desarrollado aún más en la literatura a partir de evaluaciones de equidad en la medición de la accesibilidad (van Wee & Mouter, 2021). Vecchio et al. (2020) presentan una completa revisión del estado del arte en Latinoamérica, arrojando luces sobre las diversas perspectivas y enfoques utilizados en esta región.

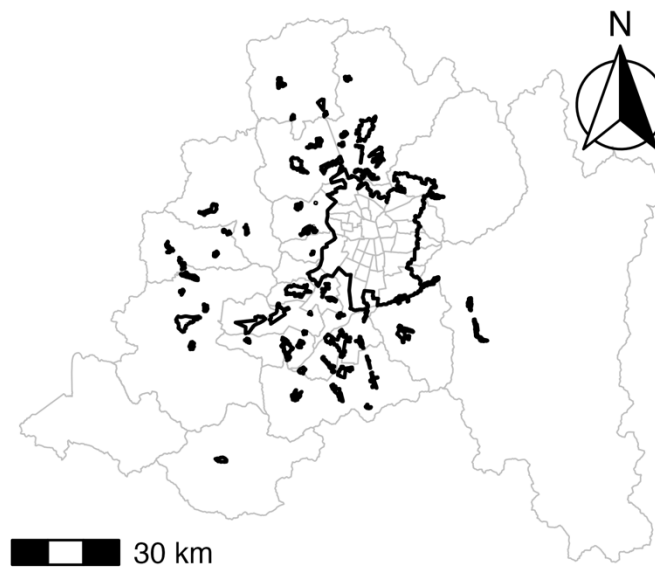
Tras caracterizar los principios de justicia aplicables a las evaluaciones de proyectos de transporte y revisar el estado del arte en torno a conceptos claves para la investigación, este estudio propone una metodología para medir el impacto de proyectos específicos en la justicia del transporte de una región. Los proyectos en cuestión y el área de estudio, configuran el caso que a continuación se presenta.

CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS

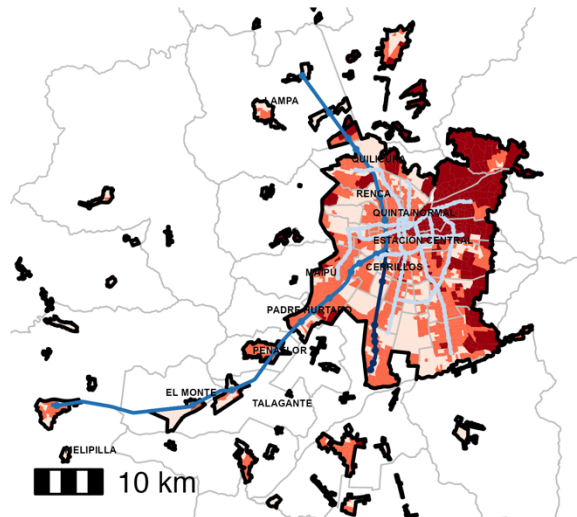
3.1. Caso de estudio

Siguiendo el argumento de Singer et al. (2023) respecto a que una perspectiva centrada en las personas requiere un enfoque regional para evaluar el rendimiento de todo el sistema de transporte, el estudio se centra en la Región Metropolitana de Santiago, una de las dieciséis divisiones territoriales de Chile (véase la Figura 3.1). Con una población de 7.112.808 habitantes (INE, 2017), la región se compone de seis provincias y 52 comunas. El Gran Santiago, en adelante también “la ciudad”, es su principal núcleo urbano.

La tasa de pobreza regional se encuentra en un 4,42% (MDS, 2022). La segmentación socioeconómica de la región, ilustrada en la parte inferior de la Figura 3.1, se basa en el Indicador Socio-Material Territorial (ISMT) desarrollado por Observatorio de Ciudades UC (2020). En comparación con otras regiones metropolitanas de la OCDE, el área urbana de Santiago exhibe la mayor disparidad en el PIB per cápita estimado entre municipios (OECD, 2013). Esta disparidad también se expresa en el limitado acceso de los residentes en las zonas periféricas de la ciudad a oportunidades de trabajo y espacios verdes, que se concentran en las zonas centro y centro-este de la ciudad (Iglesias et al., 2019).



— Comunas de la Región Metropolitana
 — Límite urbano



Red ferroviaria		Caracterización socioeconómica	
	Red de Metro		Alto
	Proyectos de trenes suburbanos		Medio
	Tren Santiago - Nos		Bajo

Figura 3.1. Región Metropolitana con sus divisiones comunales y límite urbano (arriba) y el Gran Santiago con su red ferroviaria y su caracterización socioeconómica (abajo).

El sistema de transporte público de la ciudad conecta, física y tarifariamente, los buses de transporte público (operado por seis empresas concesionarias) con el Metro de Santiago y el Tren Nos – Estación Central, este último operado por la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, EFE (Red Movilidad, 2023). Para más información sobre la movilidad en la Región Metropolitana de Santiago, véase el Informe sobre Movilidad Urbana en Chile (Ingeniería UC, 2024).

3.1.1 Los proyectos: Los trenes suburbanos Santiago – Melipilla y Santiago – Batuco

En Chile, los proyectos de inversión pública deben ingresar al Sistema Nacional de Inversión (SNI), el cual reúne las metodologías, normas y requisitos que deben cumplir las iniciativas de inversión. En este marco metodológico, administrado por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia, la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, EFE, sometió a evaluación los proyectos de trenes suburbanos Santiago – Melipilla y Santiago – Batuco, cuyas principales características se presentan en la Tabla 3.1.

El caso de estudio es particularmente relevante debido a que los proyectos de trenes suburbanos (también conocidos como trenes de cercanías) han sido en general menos estudiados en la literatura latinoamericana, salvo algunas notables excepciones como São Paulo o Buenos Aires (Freiberg et al., 2024; Pucci et al., 2019). Los estudios de equidad de transporte se han focalizado en la evaluación de nuevas infraestructuras, como BRT y teleféricos (Guzman et al., 2017, 2024; Turbay et al., 2024).

Tabla 3.1. Principales características de los proyectos de trenes suburbanos en Santiago, Chile. (Fuentes: EFE, 2024a, 2024b; MDS, 2022)

	Santiago – Melipilla	Santiago – Batico
Fecha de inicio esperada	2027	2028
Demanda estimada	57 millones de pasajeros/año	35 millones de pasajeros/año
Conexión del centro con Población atendida aproximada	Suroeste de la ciudad 1,3 millones	Norte de la ciudad 1 millón
Comunas involucradas	Melipilla, El Monte, Talagante, Peñaflor, Padre Hurtado, Maipú, Cerrillos, Estación Central (8)	Lampa, Quilicura, Renca, Quinta Normal, Santiago center (5)
Pobreza estimada de las comunas involucradas	4.27%	4.79%
Estaciones	11	8
Extensión	61 kilómetros	26 kilómetros
Combinaciones con Metro	Líneas 1 y 6	Líneas 3, 5 y 7.
Inversión estimada	US\$ 1.578 millones	US\$ 950 millones
Ahorros de tiempo de viaje	Hasta 76 minutos por viaje	Hasta 67 minutos por viaje

3.2. Propuesta metodológica

La propuesta metodológica se basa en la aplicación rigurosa de las "reglas" de Martens (2017) para el diseño de sistemas de transporte justos, utilizando como referencia la aplicación práctica a modo de diagnóstico de la ciudad de Rotterdam, Países Bajos, realizada por van der Veen et al. (2020). La Figura 3.2 presenta un diagrama de flujo con la metodología utilizada en este estudio. A partir de la caracterización de procesos, subprocesos, datos de entrada y resultados esperados descritos en la figura, la metodología puede resumirse en siete tareas claves:

1. Identificación de los grupos de personas en el área de estudio.
2. Identificación de oportunidades en el área de estudio.
3. Cálculo de indicadores de accesibilidad a las oportunidades y movilidad potencial para cada grupo en un escenario base (sin proyectos) para el año 2028.

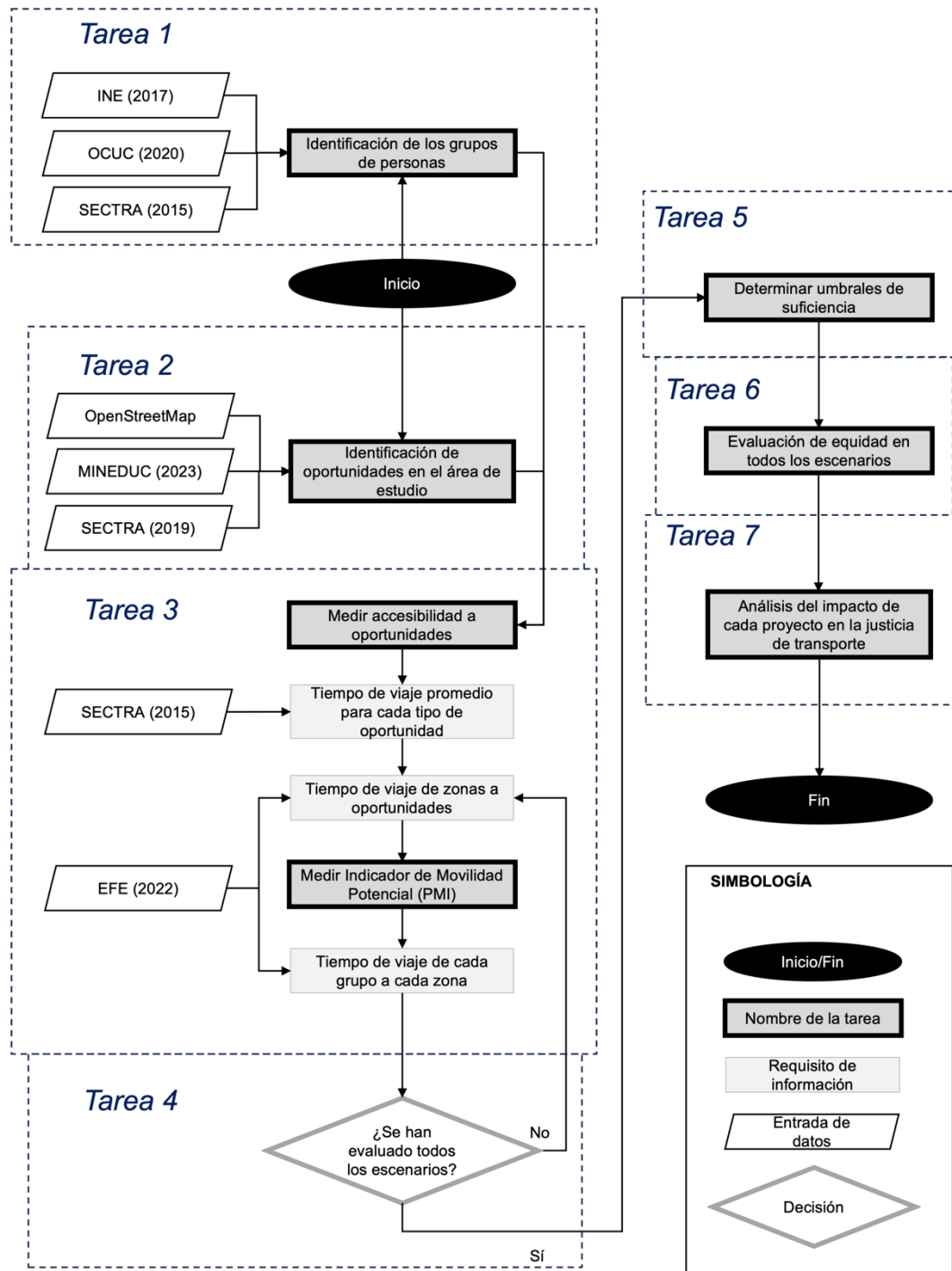


Figura 3.2. Diagrama de flujo de la metodología empleada.

4. Repetir el paso anterior para cada escenario de proyecto: Proyecto Santiago – Melipilla, Proyecto Santiago – Batuco y ambos.
5. Identificación de un umbral de suficiencia para cada indicador.
6. Evaluación de equidad para todos los grupos a través del Índice de Justicia de Accesibilidad (AFI) para todos los escenarios.
7. Análisis del impacto de cada proyecto en la justicia del transporte en la ciudad.

Una explicación detallada de cada tarea se presenta a continuación.

3.2.1 Identificación de los grupos de personas en el área de estudio

La caracterización de grupos de la población, $g_{ikm} \in \mathbf{G}$, se llevó a cabo teniendo en consideración cuatro atributos: número de personas que componían el grupo, $n \in \mathbf{N}$; zona a la que pertenecía, $i \in \mathbf{I}$; caracterización socioeconómica, $k \in \mathbf{K}$ y modos de transporte disponibles, $m \in \mathbf{M}$. Las primeras dos características fueron obtenidas del Censo de Población y Vivienda llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE, 2017). Este censo definió una zona como una división operacional del territorio que comprende hasta 2.000 viviendas (INE, 2015). Frente a las limitaciones para obtener datos de ingreso a nivel de hogares, se utilizó el Índice Socio-Material Territorial (ISMT) para definir la caracterización socioeconómica. Este indicador permite clasificar cada zona censal en términos de ingresos bajos, medios o altos con base en el nivel educativo (jefe de hogar), las condiciones de vida y la calidad de la vivienda (Observatorio de Ciudades UC, 2020).

Para establecer la disponibilidad de modos de transporte, solo el automóvil privado y el transporte público fueron considerados. Esta selección se debe a la perspectiva suburbana que tienen los proyectos bajo análisis, la complementariedad del transporte público y la dinámica competitiva que se

genera con los automóviles privados. En la actualidad, la caminata y la bicicleta se encuentran predominantemente vinculados a distancias más cortas. Concretamente, el 90% de los desplazamientos realizados mediante estos medios de transporte se concentran en un rango de hasta 1 km para la caminata, y hasta 5 km para la bicicleta (MTT, 2022).

La disponibilidad de transporte público se evaluó a partir de la red proporcionada por EFE, uniendo el nodo más cercano a cada zona identificada en el Censo de Población y Vivienda (más detalles en la sección 3.2.3). Dada la falta de datos detallados y actualizados, se llevó a cabo un modelo de regresión logística binomial para poder estimar la probabilidad de cada hogar de poseer al menos un vehículo. Este modelo fue obtenido utilizando los diarios de viaje de la última Encuesta Origen Destino de Santiago (SECTRA, 2015), la cual incorpora una caracterización socioeconómica en términos de bajos, medios y altos ingresos y la composición del hogar de la persona que realizó cada viaje encuestado. Las variables del modelo se seleccionaron por su aplicabilidad a nivel censal y en concordancia con modelos clásicos de estimación de tenencia de automóviles para niveles de desagregación similares (de Jong et al., 2004). La ecuación (1) presenta el modelo logístico estimado cuyos resultados se resumen en la Tabla 3.2.

$$\log(p) = \beta_0 + \beta_1 \cdot I_3 + \beta_2 \cdot I_2 + \beta_3 \cdot n_3 + \beta_4 \cdot n_{4-5} \quad (1)$$

Donde:

- p es la probabilidad de que el hogar tenga al menos un automóvil.
- I_3 es una variable indicadora (“dummy”) que toma el valor de 1 si el hogar pertenece al nivel socioeconómico bajo y 0 en caso contrario.

- I_2 es una variable indicadora que toma el valor de 1 si el hogar pertenece al nivel socioeconómico medio y 0 en caso contrario.
- n_3 es una variable indicadora que toma el valor de 1 si el hogar tiene 3 integrantes o menos.
- n_{4-5} es una variable indicadora que toma el valor de 1 si el hogar tiene 4 o 5 integrantes.

Tabla 3.2. Resultados del modelo de regresión logística binomial para la estimación de tenencia de vehículo a nivel de hogar a partir de SECTRA (2015).

Coefficiente	Estimación	Error estándar	Valor z	Valor p
β_0	1,74738	0,10377	16,839	< 2e-16 ***
β_1	-3,51769	0,09697	-36,276	< 2e-16 ***
β_2	-2,12237	0,09324	-22,763	< 2e-16 ***
β_3	0,25428	0,06204	4,099	4,15e-05 ***
β_4	0,38411	0,06333	6,065	1,32e-09 ***

Desviación nula: 24.487 en 18.263 grados de libertad
Desviación residual: 21.555 en 18.259 grados de libertad
AIC: 21.565
Número de iteraciones de puntuación de Fisher: 4
Nota: ***: $p < 0,001$

La estimación de los coeficientes representa el efecto relativo en escala logit de la menor o mayor probabilidad asociada a cada variable de tener disponibilidad de automóvil para el hogar, siendo β_0 la representación de la probabilidad base. De esta forma, y en términos sintéticos, el modelo reconoce una mayor probabilidad de tener acceso al automóvil al pertenecer a niveles de ingreso más altos y poseer una composición del hogar con más integrantes.

Este modelo fue posteriormente aplicado a cada hogar de la Región Metropolitana a partir de datos del Censo de Población y Vivienda (INE, 2017). Con el propósito de recoger la variabilidad inherente al modelo, se implementó un proceso que asignaba un número aleatorio entre 0 y 1 a cada hogar. Este valor se comparaba con la probabilidad estimada de que ese hogar tuviera al menos un automóvil. Si la probabilidad era mayor que el número aleatorio

asignado, se consideraba que el hogar disponía de acceso a un automóvil. La eficacia del modelo tras su aplicación a nivel censal se presenta en la Tabla 3.3.

Una vez concluido el proceso de caracterización de los grupos, la Tabla 3.4 presenta un resumen de los grupos identificados en la zona de estudio.

Tabla 3.3. Porcentaje de tenencia vehicular observado y modelado por nivel de ingresos.

Nivel de ingresos	Encuesta Origen Destino (SECTRA, 2015)		Censo (INE, 2017)	
	Número de hogares	Porcentaje de tenencia de automóvil	Número de hogares	Porcentaje de tenencia de automóvil
Bajo	6.776	18,4	859.057	18,3
Medio	10.323	47,6	914.348	47,6
Alto	1.165	88,2	462.793	88,2

Tabla 3.4. Caracterización de los grupos identificados en la Región Metropolitana.

Nivel de ingreso, K	Disponibilidad de automóvil, M	Grupos, G	Población, N
Bajo	No	1.068	2.423.128
Bajo	Sí	1.054	532.875
Medio	No	907	1.515.162
Medio	Sí	906	1.372.891
Alto	No	396	146.766
Alto	Sí	396	1.098.526
Total		4.727	7.089.348 ²

3.2.2 Identificación de oportunidades en el área de estudio

Para proceder con el cálculo de los indicadores de accesibilidad y movilidad potencial, es necesario previamente caracterizar los posibles destinos u oportunidades deseados por los diferentes grupos. La Tabla 3.5 resume el set de

² La disparidad en las cifras de población total respecto a los resultados oficiales del Censo de Población y Vivienda de la Región Metropolitana (7.112.808) se debe a la existencia de zonas que carecen de indicador ISMT. Las personas pertenecientes a estas zonas censales sin ISMT fueron excluidas de la caracterización de los grupos de la población.

oportunidades (O_y) de cada tipo de oportunidad (Y) en el área de estudio, asociadas cada una de ellas a alguna de las cuatro categorías escogidas: Educación, Ocio, Servicios y Trabajo.

La categoría de Educación fue integrada a las categorías propuestas por Van der Veen et al. (2020), en atención a la relevancia de ese propósito de viaje el contexto de la región (SECTRA, 2015). La información del número de Escuelas fue obtenida del Ministerio de Educación (MINEDUC, 2023). Los datos correspondientes a las categorías Ocio y Servicios se recolectaron usando Overpass Turbo, una herramienta utilizada con frecuencia para ejecutar consultas en OpenStreetMap (Olbricht, 2015). Todas las oportunidades fueron asumidas constantes para el año 2028, corte temporal escogido para cada escenario.

Utilizando una metodología similar a Niehaus (2016) y Basso et al. (2020), y como una aproximación debido a la insuficiencia de datos sobre oportunidades de trabajo, se proyectó el número de viajes atraídos por motivos laborales sobre una zonificación específica, en el periodo punta mañana, a partir de la información oficial disponible (SECTRA, 2019). Para este caso en particular, se utilizaron los resultados para el año 2025, al ser los más cercanos disponibles para el año bajo análisis (2028).

Cada base de datos contenía información espacial, representada como centroides georreferenciados o polígonos. Estos datos espaciales facilitaron las intersecciones con la zonificación identificada en el punto 3.2.1. La aplicación de este proceso fue posible gracias a la utilización de las bibliotecas *sf* y *sp*, que permiten realizar intersecciones espaciales en el software de código abierto R. Para una comprensión más profunda de las intersecciones espaciales empleando el software R, consulte Mas (2018) y Pereira & Herszenhut (2023).

Tabla 3.5. Caracterización de las oportunidades identificadas en la Región Metropolitana.

Categoría	Subcategoría	Tipos de oportunidades, Y	Oportunidades, O_y	Fuente
Educación	Escuelas	Escuelas	3.469	MINEDUC (2023)
Educación	Ed. Superior	Universidades	242	OpenStreetMap
Ocio	Cultura	Bibliotecas	96	OpenStreetMap
Ocio	Recreación	Canchas	6.601	OpenStreetMap
Ocio	Recreación	Parques	218	OpenStreetMap
Ocio	Recreación	Plazas	3.541	OpenStreetMap
Servicios	Comercial	Supermercados	595	OpenStreetMap
Servicios	Salud	Farmacias	1.034	OpenStreetMap
Servicios	Salud	Hospitales	89	OpenStreetMap
Trabajo	Trabajo	Trabajo	1.620.958	SECTRA (2019)

La asignación de ponderaciones para cada tipo de oportunidad, denotada como W_y , se adhirió a la metodología llevada a cabo por van der Veen et al. (2020), empleando para ello un enfoque jerárquico directo para garantizar una contribución proporcional de cada tipo de oportunidad al cálculo de la accesibilidad. A cada categoría se le asignó un peso igual, con un 25% del peso total atribuido a cada categoría (calculado como $100\%/4 = 25\%$). Posteriormente, las subcategorías ajustaron sus factores en función de la cantidad de subcategorías dentro de sus respectivas categorías. A modo de ejemplo, la categoría Ocio, que alberga subcategorías de Recreación y Cultura, asignó un peso del $25\% \times 50\% = 12,5\%$ a cada una. Este mismo procedimiento se repitió para los tipos de oportunidades. Siguiendo con el ejemplo anterior, Plazas, un tipo de oportunidad dentro de la subcategoría Recreación, recibió un peso del $25\% \times 50\% \times 33,3\% = 4,16\%$, lo que refleja la presencia de tres tipos de oportunidades dentro de su subcategoría (Canchas, Parques y Plazas).

3.2.3 Cálculo de indicadores de accesibilidad a las oportunidades y movilidad potencial para cada grupo en un escenario base (sin proyectos) para el año 2028

3.2.3.1 El indicador de accesibilidad gaussiano

El indicador de accesibilidad gaussiano, recomendado por van der Veen et al. (2020), y readaptado de Bhat et al. (2001), se presenta en la ecuación (2).

$$A_{g_{ikm}}^y = \sum_{o_{y,j} \in \mathbf{O}_y} \left(W(o_{y,j}) * \exp \left(- \left((tt_{ikm}^{o_{y,j}} / t_y^*)^2 \right) / 2 \right) \right) \quad \forall g \in \mathbf{G}, \forall y \in \mathbf{Y} \quad (2)$$

$$W(o_{y,j}) = \frac{o_{y,j}}{\mathbf{O}_y} \quad (3)$$

Donde $A_{g_{ikm}}^y$ es la accesibilidad para un grupo específico g_{ikm} a una oportunidad de tipo $y \in Y$ y $W(o_{y,j})$ es el ponderador asignado a cada oportunidad del tipo y ubicada en la zona j definido en la ecuación (3). El término $tt_{ikm}^{o_{y,j}}$ es el tiempo de viaje específico de un grupo en particular para visitar las oportunidades de tipo y ubicadas en la zona j , mientras que t_y^* representa el tiempo de viaje promedio para cada tipo de oportunidad basado en datos de diario de viaje. En este estudio, se utilizaron los tiempos promedios de viaje por propósito de la Encuesta Origen Destino de Santiago 2012 (SECTRA, 2015) para vincularlos con los tipos de oportunidades identificados en el punto 3.2.2. Esta asociación se presenta de manera detallada en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Valores de tiempo de viaje promedio en minutos hacia cada tipo de oportunidad, t_y^* , basado en datos de diarios de viaje (SECTRA, 2015)

Tipos de oportunidades, Y	Destino declarado Encuesta Origen Destino (SECTRA, 2015)	t_y^* , en minutos
Escuelas	Estudios	33,7
Universidades	Estudios	33,7
Bibliotecas	Recreación	32,6
Canchas	Recreación	32,6
Parques	Recreación	32,6
Plazas	Recreación	32,6
Supermercados	Compras	17,7
Farmacias	Compras	17,7
Hospitales	Salud	40,3
Trabajo	Trabajo	50,2

Los datos de tiempos de viaje, medidos en minutos, fueron obtenidos de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, EFE, los cuales fueron especialmente generados en el marco de los estudios de demanda de los proyectos Santiago – Batuco y Santiago – Melipilla (EFE, 2022a, 2022b). Los tiempos de viaje para distintos pares Origen Destino se modelaron utilizando ESTR AUS, una herramienta predictiva diseñada para establecer un equilibrio simultáneo entre la oferta y la demanda, basada en las cuatro etapas del modelo clásico de transporte (De Cea et al., 2005). Cabe señalar que ESTR AUS es una herramienta fundamental para apoyar los análisis de planificación de los sistemas de transporte urbano en Chile (SECTRA, 2019).

Los estudios de EFE adoptaron una zonificación única para la modelización de los proyectos, por lo que fue necesario vincular el nodo de EFE más cercano a cada zona en el Censo de Población y Vivienda. Esta vinculación, en el marco de esta metodología, permitió conocer el tiempo de viaje correspondiente entre zonas censales.

3.2.3.2 El indicador de movilidad potencial

El indicador de movilidad potencial (PMI, por sus siglas en inglés), propuesto por Martens (2017) para describir la facilidad de desplazamiento desde una zona determinada a todas las otras, tiene por función reportar las ineficiencias de la red producto de la presencia de barreras físicas, las cuales son percibidas de manera diferente por los distintos grupos de población. En las zonas donde este indicador presenta un valor bajo, las zonas bajo análisis tienen tiempos de viaje elevados a las zonas adyacentes. La ecuación (4) muestra la formulación del PMI cuya unidad de medida es kilómetros por hora.

$$PMI_{g_{ikm}} = \frac{\sum_{j \in J_i} (d_j^i)}{\sum_{j \in J_i} (tt_{ikm}^j)} \quad \forall g \in G \quad (4)$$

Donde:

- I = conjunto de todas las zonas i
- $J_i = \{I - i\}$: conjunto de todas las zonas, excluyendo $i \in I$
- d_j^i : Distancia euclidiana desde i a j
- tt_{ikm}^j : tiempo de viaje de un grupo específico a la zona j

3.2.4 Repetir el paso anterior para cada escenario de proyecto: Proyecto Santiago – Melipilla, Proyecto Santiago – Bатуco y ambos

Los cálculos previos se realizaron para el escenario base. Por lo tanto, a continuación, se deben volver a calcular el indicador de accesibilidad gravitacional y el PMI, pero esta vez considerando los otros tres escenarios, con al menos un proyecto en marcha. Cabe señalar que, para este análisis, se ha hecho una suposición importante: tras la implantación del o los trenes suburbanos, la distribución de oportunidades permanece constante. En términos

más sencillos, las tareas 4.1 y 4.2 permanecen inalteradas. Este supuesto podría considerarse una limitación a la hora de evaluar las repercusiones a largo plazo de los proyectos.

3.2.5 Identificación de umbrales de suficiencia para cada indicador

Considerando los desafíos asociados a la definición e implementación de umbrales de accesibilidad (ver Ryan & Martens, 2023), y de la misma forma que van der Veen et al. (2020), la metodología adoptada en este estudio adhiere al enfoque pragmático propuesto por Martens (2017). En línea con Singer et al. (2023) para el contexto estadounidense, dada la predominante cultura orientada al automóvil existente en las áreas urbanas de Chile, valores promedios ponderados por población basados en el automóvil son considerados para establecer los umbrales de suficiencia tanto de accesibilidad como del PMI. De esta forma, x_t representa el umbral de suficiencia de accesibilidad, mientras que z corresponde al umbral de suficiencia de PMI. Además, para el indicador de accesibilidad, un umbral de accesibilidad específico para cada tipo de oportunidad fue identificado, x_t^y .

La implementación de proyectos de transporte supone una mejora de la accesibilidad. Por consiguiente, los datos utilizados para determinar los promedios ponderados de los indicadores como umbral de suficiencia corresponden al escenario de ambos proyectos.

3.2.6 Evaluación de equidad para todos los grupos a través del Índice de Justicia de Accesibilidad (AFI) para todos los escenarios

La justicia de transporte es evaluada para cada uno de los cuatro escenarios por medio del Indicador de Justicia de Accesibilidad (AFI) caracterizado por Martens (2017) y presentado en la ecuación (5).

$$AFI = \sum_{g \in G, y \in Y} W_y \frac{\left(\left(\frac{x_t^y - A_{g_{ikm}}^y}{x_t^y} \right)^2 Q_{g_{ikm}}^y n_{g_{ikm}} \right)}{N} \quad (5)$$

$$Q_{g_{ikm}}^y = 1 \Leftrightarrow A_{g_{ikm}}^y < x_t^y \wedge PMI_{g_{ikm}} < z, 0 \text{ en otro caso} \quad (6)$$

En la ecuación (5), AFI es el Indicador de Justicia de Accesibilidad de la región mientras que x_t^y corresponde al umbral de suficiencia de accesibilidad para cada tipo de oportunidad y . Como se mencionó previamente, $A_{g_{ikm}}^y$ es la accesibilidad de un grupo específico g_{ikm} a las oportunidades tipo y . Por su parte, $n_{g_{ikm}}$ corresponde al número de personas que componen cada grupo, $n \in N$, donde N es la población total de la región. En la ecuación (6), $Q_{g_{ikm}}^y$ es una variable binaria que permite considerar en el indicador de justicia solo aquellos grupos que se encuentran, al mismo tiempo, debajo de los umbrales establecidos para accesibilidad y movilidad potencial. Cabe señalar que el AFI tiene valores entre 0 y 1, siendo 1 un indicador de máxima inequidad.

Prescindiendo del ponderador de tipo de oportunidad, W_y , es posible calcular el indicador de justicia para cada tipo de oportunidad, AFI^y . De forma similar, el impacto específico de cada grupo ($AFI_{g_{ikm}}^y$) en el AFI de la región se puede obtener de acuerdo a la ecuación (7).

$$AFI_{g_{ikm}}^y = \frac{\left(\frac{x_t^y - A_{g_{ikm}}^y}{x_t^y} \right)^2 Q_{g_{ikm}}^y n_{g_{ikm}}}{N} \quad \forall g \in G \quad (7)$$

3.2.7 Análisis del impacto de cada proyecto en la justicia del transporte en la ciudad

Una vez calculados los indicadores de justicia para todos los escenarios (base, proyecto Santiago – Melipilla, proyecto Santiago – Batuco y ambos proyectos), la tarea final consiste en examinar la influencia de los proyectos en la justicia del transporte en la región. Este análisis pretende identificar si los proyectos contribuyen o no al diseño de un sistema de transporte justo y se llevó a cabo verificando los cambios en el AFI entre los cuatro escenarios.

Junto con lo anterior, se propone una herramienta de comparación entre proyectos: la realización de un análisis costo-eficiencia (ACE). El ACE permite identificar la inversión realizada en el proyecto para reducir un punto base en el AFI de la región, entregando información de rendimiento del proyecto en términos de justicia.

Finalmente, el impacto de los proyectos bajo análisis también fue medido considerando tres aspectos: (1) el cambio de AFI en los grupos que experimentaban una mayor inequidad en el acceso a oportunidades; (2) la identificación del total de la población que alcanzó los umbrales de suficiencia establecidos; y (3) la evaluación del impacto en la accesibilidad de los proyectos analizados, considerando el nivel socioeconómico de los grupos, a través del índice de Palma.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

4.1. Escenario base

Previo a analizar el impacto de la implementación de proyectos de trenes suburbanos en la Región Metropolitana, se presentan los resultados del escenario base. Utilizando las mismas ponderaciones de tipo de oportunidad (W_j , presentadas en el punto 3.2.2), se construyó un valor de accesibilidad ponderado. A través de un diagrama de caja, la Figura 4.1 presenta la distribución de la accesibilidad a cada tipo de oportunidad en función del modo de transporte disponible. Los resultados muestran una mayor variabilidad para el modo de transporte público y medianas generalmente más altas para el modo automóvil, con las excepciones de Bibliotecas y Universidades. Sin embargo, la interpretación de los valores de accesibilidad obtenidos plantea un desafío. Como acertadamente señalan Soukhov et al. (2024), aunque algunos valores pueden considerarse "relativamente bajos" o "relativamente altos", no se corresponden con medidas cuantificables que puedan comprenderse fácilmente. Esto subraya la necesidad de establecer conexiones más claras y explícitas entre las normas y las experiencias reales vividas (Soukhov et al., 2023). Un intento por contribuir a una interpretación más sencilla de los valores de accesibilidad obtenidos se presenta en el apartado 4.4.

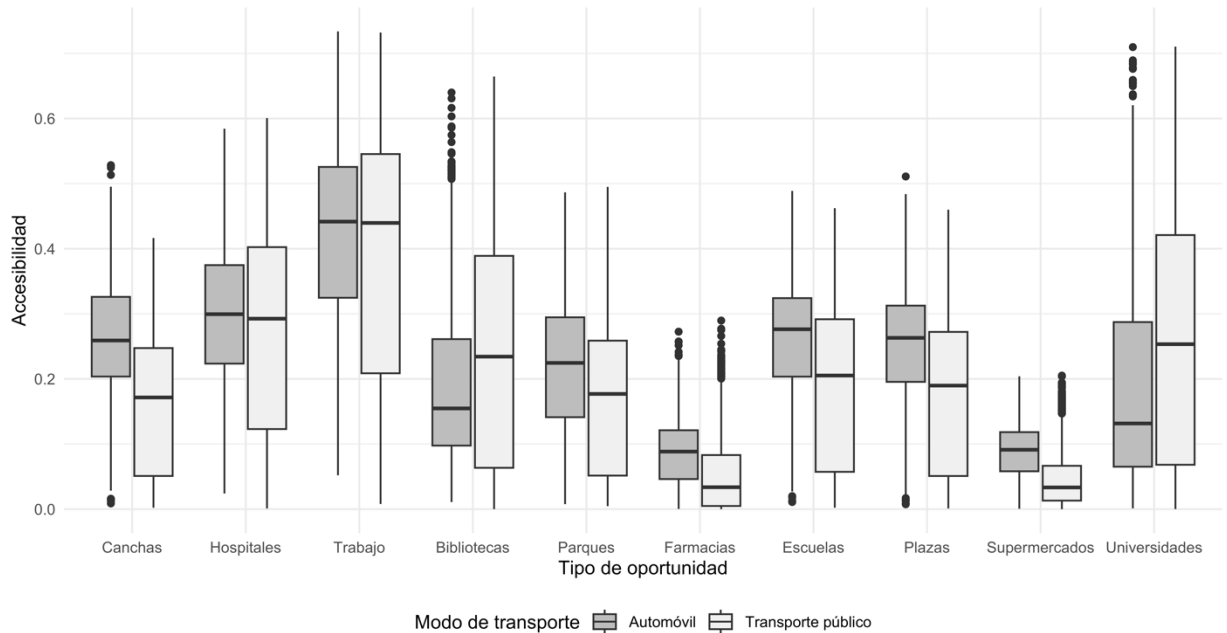


Figura 4.1. Accesibilidad a diferentes tipos de oportunidades según modo de transporte disponible en el escenario base.

Los resultados de estos valores de accesibilidad desde una perspectiva territorial se presentan en la Figura 4.2 como gráfico divergente, pudiendo identificar dónde es más importante cada modo de transporte en la ciudad. Estos resultados son consistentes con otros estudios de accesibilidad en la ciudad de Santiago (Niehaus et al., 2016; Iglesias et al., 2019; Pineda & Mella Lira, 2019; Tiznado-Aitken et al., 2021), mostrando dos realidades que son opuestas. Mientras el transporte público tiene mejores valores en el centro de la ciudad (especialmente asociado a las estaciones de Metro y en particular a la Línea 1 que conecta el poniente con el oriente de la ciudad), el automóvil entrega altos valores de accesibilidad en sectores más alejados de la ciudad, tensionando el límite urbano y favoreciendo su expansión (ver Cox & Hurtubia, 2016, 2021).

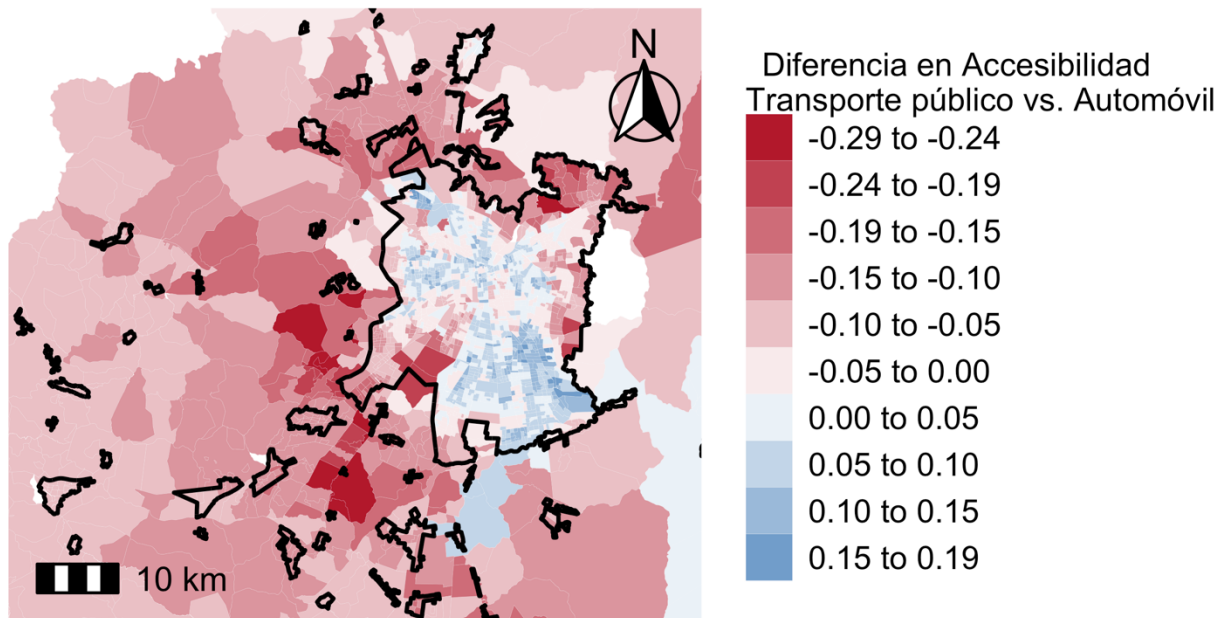


Figura 4.2. Diferencia en puntaje de accesibilidad entre el transporte público y automóvil en el escenario base.

La Figura 4.3 presenta visualmente la base teórica que propuso Martens (2017): niveles de accesibilidad y de movilidad potencial percibido por cada uno de los grupos en el área de estudio, junto con los umbrales de suficiencia identificados en la sección 3.2.5. Bajo el umbral de accesibilidad se ubican grupos que corresponden, en palabras de Martens, al “dominio de la justicia”, mientras que en la parte superior quienes pertenecen al “dominio del libre mercado”.

El cuadrante inferior izquierdo (zona destacada en gris) agrupa todos los grupos que cumplen las condiciones que activan la variable binaria Q_{gikm} : no cumplir al mismo tiempo con el estándar de accesibilidad ni con el estándar de movilidad potencial. De esta forma, aquellos grupos, en función de sus distancias relativas al umbral de accesibilidad y de la cantidad de personas que conformen el grupo, determinan el indicador de justicia, AFI.

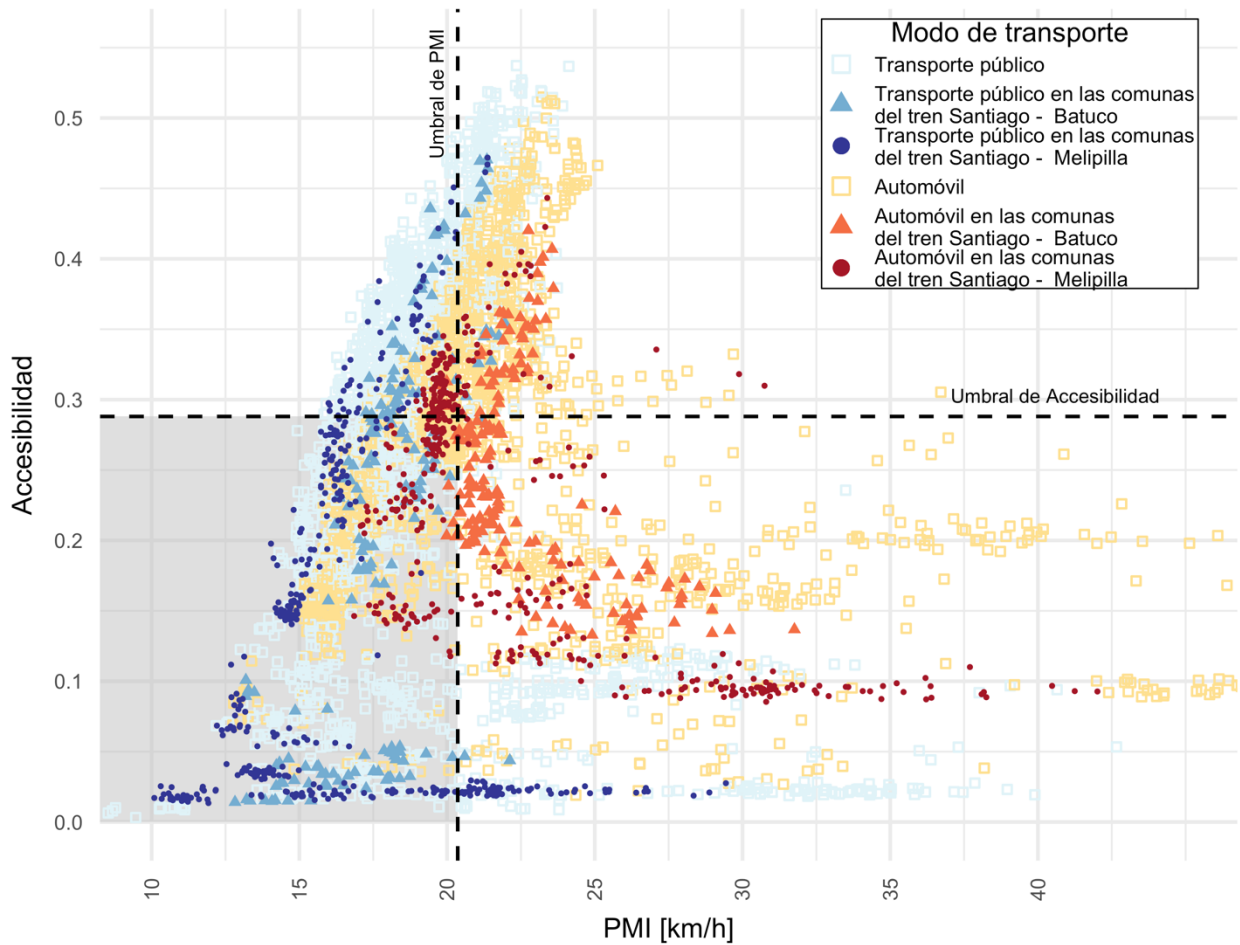


Figura 4.3. Accesibilidad (eje y) y Movilidad Potencial (eje x) para cada grupo de la población. Líneas negras indican los umbrales de suficiencia de cada indicador.

En el escenario base, la Región Metropolitana presentó un AFI de 0,117. Inicialmente, este resultado podría sugerir un prometedor nivel de equidad en la movilidad de las personas, considerando que $AFI = 1$ representa la mayor inequidad potencial. Sin embargo, al cambiar los umbrales por los valores máximos observados para ambos indicadores, el AFI aumenta sólo a 0,351. Esto sugiere que incluso cuando se consideran a todos los grupos por debajo de los umbrales -intuitivamente una situación de extrema gravedad desde el punto de vista del suficientismo- el AFI no alcanza, ni se aproxima, a 1. Este fenómeno

puede atribuirse a lo que Singer et al. (2023) denominaron "déficit de accesibilidad" representado en la relación $x_t^y - A_{gikm}^y$ en las ecuaciones (5) y (7): mientras menor sea el nivel de accesibilidad experimentado por grupos de la población bajo el umbral de suficiencia, menor será el rendimiento del sistema de transporte, resultando un valor de AFI mayor. No obstante, utilizar una formulación diferente del AFI para incorporar esta "autorreferencia" puede favorecer la identificación de falencias del sistema de transporte para entregar niveles suficientes de accesibilidad.

4.2. Escenarios con proyectos

Es fundamental identificar con eficacia las características de los grupos que encuentran mayores dificultades para acceder a las oportunidades que ofrece la ciudad. La Figura 4.4 muestra los escenarios base y con proyectos en la Región Metropolitana. Salvo unos pocos grupos del sureste de la ciudad, en general los grupos de población con acceso al automóvil superan los umbrales de suficiencia, no impactando en el AFI. En la teoría de Martens, en estos casos las mejoras en el sistema de transporte son opcionales y solo se permiten si hay suficientes recursos para atender a esos grupos (Martens, 2017, p. 143).

En el escenario base, distintas zonas de la ciudad, pertenecientes a grupos dependientes del transporte público, influyen significativamente en el indicador de justicia de la región. Las zonas más críticas se encuentran en la comuna de El Monte, al suroeste de la ciudad, así como en Lampa, al norte. Cabe señalar que algunas de las zonas cuyos grupos con acceso al automóvil experimentan un déficit de accesibilidad (comentadas previamente) también corresponden a grupos que dependen exclusivamente del transporte público para su movilidad. En ese sentido, revisar simultáneamente los resultados de ambos modos de transporte permite identificar oportunidades para la promoción de cambios modales en la población hacia modos sostenibles.

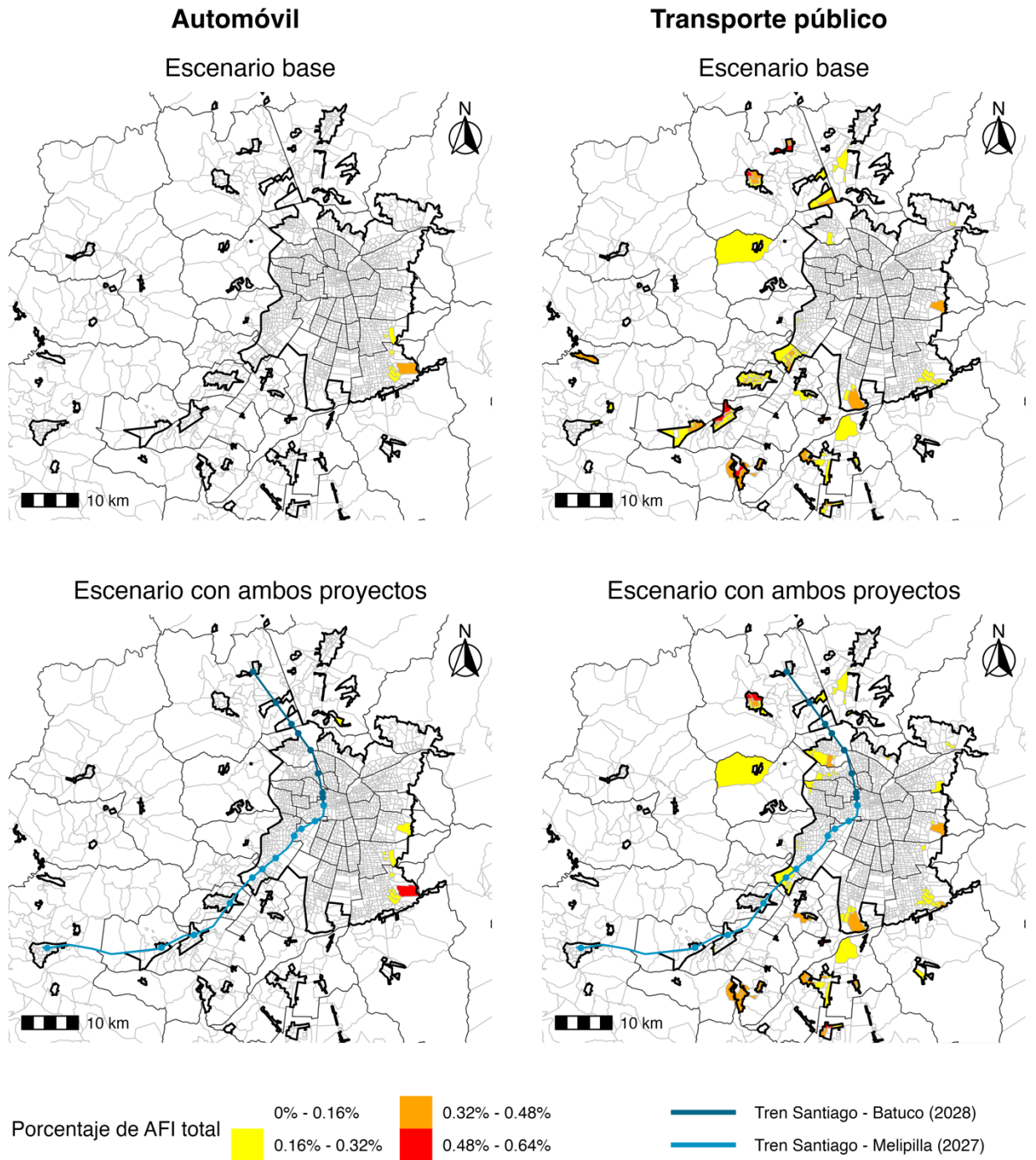


Figura 4.4. Contribución del AFI de cada grupo de la población al AFI de la región según modo de transporte.

En el escenario con ambos proyectos, la injusticia del transporte, medida a través del AFI, se reduce a 0,097. Este resultado demuestra que los proyectos Santiago – Batuco y Santiago – Melipilla contribuyen a mejorar la equidad en la ciudad. En la Figura 4.4 es posible visualizar la evolución de las zonas dependientes del transporte público, donde varias de ellas cambian su color de rojo (impacto proporcionalmente alto en el AFI) o naranja (medio) a blanco (bajo), especialmente en las proximidades de las futuras estaciones. Este cambio significa una disminución del AFI de la región tras la implementación de los trenes suburbanos. Son necesarios estudios adicionales para determinar el valor crítico que debería exigirse en caso de aplicar esta metodología en el actual proceso de evaluación de proyectos de transporte.

Los resultados completos del indicador de justicia se presentan en la Figura 4.5. Al analizar el impacto específico en el AFI total asociado a cada proyecto, Santiago – Melipilla reduce el indicador de justicia casi cuatro veces (3,84x) más que el proyecto Santiago – Batuco.

En cuanto a los distintos tipos de oportunidades, el proyecto Santiago – Melipilla presenta un AFI asociado (AFI^y) menor que el proyecto Santiago – Batuco. En el escenario con proyectos, el mayor impacto respecto al escenario base se vincula con una mayor justicia en la accesibilidad a Bibliotecas (reducción de 0,025 puntos de $AFI^{Bibliotecas}$), Universidades (0,024), Trabajo (0,021) y Hospitales (0,02). Las menores reducciones se presentan en los tipos de oportunidades Supermercados y Farmacias (ambas 0,009 de AFI^y). Los resultados dan cuenta de un mayor impacto justamente en aquellos tipos de oportunidades asociadas a propósitos de viaje (trabajos y estudios) que mayor participación tienen en el periodo bajo análisis (SECTRA, 2015). Por otro lado, resulta esperable que proyectos de trenes suburbanos tengan un impacto menor en tipos de oportunidad que, por su naturaleza, debiesen ser alcanzadas mediante desplazamientos más cortos.

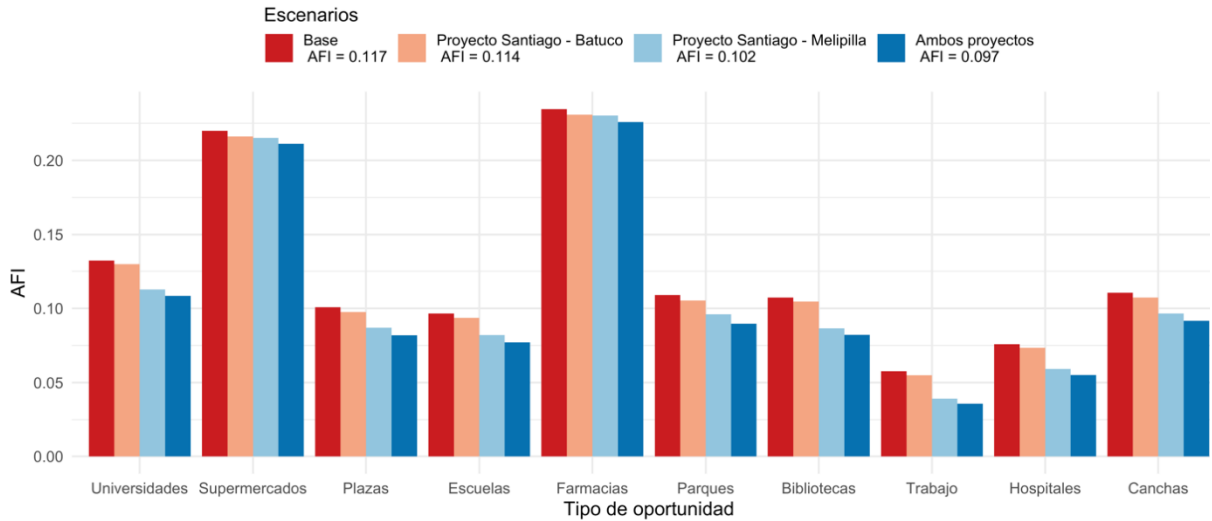


Figura 4.5. Valor del AFI para cada tipo de oportunidad en cada escenario.

Un breve análisis de costo-efectividad (ACE) sirve para comparar estos proyectos de transporte entre sí y con otras iniciativas que eventualmente también podrían atender a los grupos que se encuentran bajo los umbrales. El caso del tren suburbano Santiago – Batico invierte USD 2.225,37 millones por la reducción de cada punto base (pb) del AFI en la Región Metropolitana, mientras que Santiago – Melipilla es de USD 962,79 millones/pb, siendo este último 2,3 veces más costo-efectivo. Esta herramienta de evaluación amplía la valoración de los proyectos al incorporar consideraciones pasadas por alto en los métodos tradicionales, en particular las asociadas al análisis costo-beneficio.

4.3. Las personas beneficiadas

Para identificar a las personas beneficiadas de estos proyectos (y así enriquecer el análisis más allá de meras métricas como "pasajeros al año") es posible seguir, al menos, dos vías de análisis. Respecto a la primera, el marco teórico de Martens dirige la atención hacia los grupos con mayor derecho a las mejoras de

accesibilidad, lo que exige examinar si estos grupos se benefician realmente de los proyectos en cuestión. La Tabla 4.1 presenta los 10 grupos con mayor AFI en el escenario de referencia. Entre estos grupos, caracterizados por personas sin acceso al automóvil y con niveles de ingresos bajos, todos experimentan los resultados positivos de ambos proyectos, superando muchos de ellos el umbral de suficiencia (dado que la reducción de su AFI es del 100%). En atención a lo anterior, es posible señalar que los proyectos Santiago – Batuco y Santiago – Melipilla no solo otorgan beneficios de accesibilidad con equidad en la región (verificado con la reducción del AFI comentada previamente), sino que benefician a quienes tienen más derecho a recibir mejoras en el acceso a oportunidades.

En segundo término, si bien el análisis de la reducción del AFI de grupos prioritarios ofrece las conclusiones más significativas, es importante considerar que aquellos individuos que alcanzan o superan los umbrales de suficiencia establecidos también pueden ser considerados beneficiarios. En concreto, se trata de personas que, debido a la ejecución de los proyectos de transporte analizados, dejan de experimentar carencias de accesibilidad. Bajo esta perspectiva, en la Tabla 4.2 se presentan las 10 comunas con mayor población que alcanza el umbral de suficiencia una vez implementados ambos proyectos, destacando el impacto en varias comunas centrales como Lo Prado, Estación Central y Santiago. En total, con la implementación del proyecto Santiago – Batuco, 265.209 personas superan los umbrales de suficiencia, mientras que con el proyecto Santiago – Melipilla, 286.836 personas.

Tabla 4.1. 10 grupos con mayor AFI en el escenario base y el cambio producto de la implementación de proyectos.

Pos.	ID del grupo	Comuna	Nivel de ingresos	Disponibilidad de automóvil	Población	AFI grupal en el escenario base	Porcentaje de reducción de AFI
1	4.199	Lampa	Bajo	No	5.814	0,00065	3,83%
2	2.894	Talagante	Bajo	No	4.871	0,00061	100,00%
3	1.326	Lampa	Bajo	No	5.156	0,00060	100,00%
4	2.023	Talagante	Bajo	No	4.771	0,00059	100,00%
5	3.477	Isla de Maipo	Bajo	No	4.566	0,00056	21,79%
6	2.682	Talagante	Bajo	No	4.464	0,00056	100,00%
7	647	Lampa	Bajo	No	4.641	0,00055	100,00%
8	2.341	Padre Hurtado	Bajo	No	5.699	0,00053	48,74%
9	881	Talagante	Bajo	No	4.379	0,00053	100,00%
10	3.328	El Monte	Bajo	No	4.188	0,00052	100,00%

Tabla 4.2. 10 comunas con más población que alcanzan los umbrales de suficiencia (AUS) dada la implementación de proyectos de trenes suburbanos en Santiago.

Pos.	Comuna	Población AUS debido al proyecto Batuco	Población AUS debido al proyecto Melipilla	Población total AUS	Población de la comuna	Porcentaje AUS comunal
1	Lo Prado	29.303	33.440	62.743	95.901	65,4%
2	Maipú	25.499	27.043	52.542	520.826	10,1%
3	Talagante	0	43.437	43.437	74.125	58,6%
4	Cerrillos	2.904	38.762	41.666	80.710	51,6%
5	El Monte	47	28.490	28.537	35.876	79,5%
6	Estación Central	3.115	19.217	22.332	140.809	15,9%
7	Santiago	14.188	7.053	21.241	402.847	5,3%
8	La Florida	12.099	8.711	20.810	366.493	5,7%
9	Lampa	18.738	0	18.738	101.534	18,5%
10	Pudahuel	17.517	0	17.517	223.977	7,8%

Para evaluar el impacto de los proyectos analizados en la accesibilidad considerando las desigualdades socioeconómicas existentes, se empleó el índice de Palma, el cual mide la distribución de una variable entre el 10% de la población con mayores ingresos y el 40% de la población con menores ingresos. Valores mayores a 1 significa que la población de mayores ingresos tiene niveles de accesibilidad mayores que los más pobres, mientras que valores menores a 1 la situación contraria.

Los resultados señalan que el índice de Palma (PR, por su sigla en inglés) se mantiene constante en el escenario del proyecto Santiago – Bатуco (PR = 1,661) respecto al escenario base, pero disminuye un 3,3% en el escenario del proyecto Santiago – Melipilla (PR = 1,606) y un 3,7% cuando se consideran ambos proyectos conjuntamente (PR = 1,600). Esto sugiere que ambos proyectos contribuyen a mejorar la equidad en la accesibilidad entre los grupos socioeconómicos, siendo el proyecto Santiago – Melipilla el que tiene el mayor impacto.

4.4. Umbrales de suficiencia

Finalmente, en un intento por contribuir en la generación de umbrales de suficiencia que sean interpretados de manera sencilla por profesionales, tomadores de decisión y la ciudadanía en general, y así alejarse del enfoque pragmático utilizado en este estudio, en la Figura 4.6 se presenta la evolución de AFI al utilizar umbrales comunales de accesibilidad y movilidad potencial. Al igual que en la sección 3.2.5, los umbrales comunales corresponden a valores promedios ponderados por población basados en el automóvil.

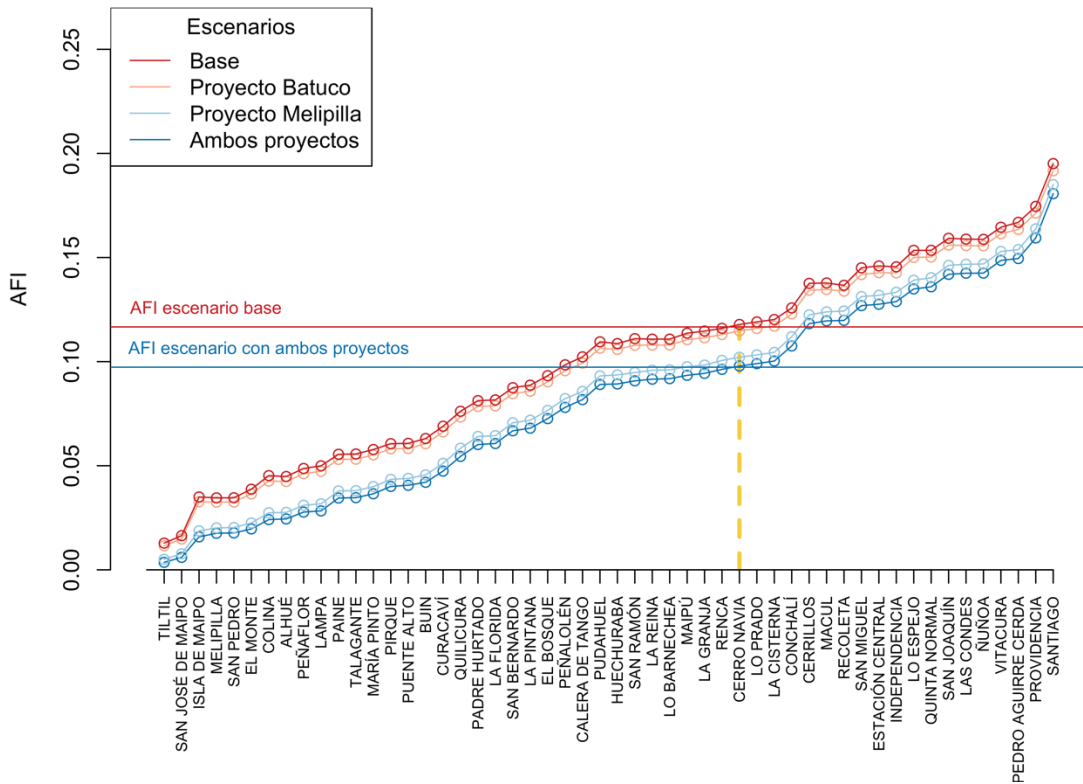


Figura 4.6. Evolución de AFI por escenario de proyecto al utilizar umbrales comunales de accesibilidad y potencial de movilidad de grupos con acceso a automóvil ponderados por población

El ejercicio permite evaluar la justicia de transporte en la región utilizando como parámetro los niveles de accesibilidad que experimenta una comuna en específico. Así, si se utilizan como umbrales de suficiencia valores de accesibilidad y movilidad potencial de la comuna de Til Til, en el norponiente de la región, el indicador de justicia alcanza niveles mínimos, cercanos a cero, para todos los escenarios evaluados. En forma análoga, utilizar la accesibilidad y la movilidad potencial que tienen, en promedio, los grupos con acceso a automóvil en la comuna de Santiago, en el centro neurálgico de la ciudad, eleva el AFI regional a niveles cercanos a 0.2 en todos los escenarios de proyectos.

La intersección de los valores de AFI para los escenarios base y con ambos proyectos con las curvas de evolución de AFI de acuerdo a umbrales de suficiencia comunales, permite caracterizar los umbrales escogido en la sección 3.2.5. Los valores de AFI regional de cada escenario son similares a los valores de AFI que se obtienen si se consideran como umbrales de suficiencia los valores de accesibilidad y movilidad potencial que experimentan en promedio las personas con acceso a automóvil en la comuna de Cerro Navia, ubicada en el norponiente de la ciudad. Esta intersección se aprecia gráficamente mediante una línea color amarillo. Caracterizar la comuna que más se asemeja al estándar de accesibilidad suficiente escogido a través de indicadores de accesibilidad de más sencilla interpretación (como los de tipo isócronos) podría facilitar la deliberación de umbrales de suficiencia considerados aceptables por los tomadores de decisión y, especialmente, por la ciudadanía.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

Incorporar principios de justicia en las evaluaciones de proyectos de transporte pone en tensión las actuales metodologías utilizadas en Chile y en varios lugares del mundo. Implica poner atención no solo en los beneficios y costos que se pueden asociar a los proyectos de transporte, sino también a resaltar quiénes se benefician de la implementación de un proyecto y qué constituye una distribución adecuada de los beneficios percibidos por la población.

Siguiendo la teoría desarrollada por Martens (2017) y a diferencia de la aplicación realizada por van der Veen et al. (2020) para diagnosticar la ciudad de Rotterdam, este trabajo propuso una metodología diseñada para evaluar proyectos de transporte específicos, donde la atención se dirige hacia los grupos de población con mayor derecho a una mayor accesibilidad dentro del contexto del proyecto. La metodología se aplicó para el caso de estudio de los nuevos proyectos ferroviarios de Santiago, como Santiago – Batuco y Santiago – Melipilla, los cuales tienen particular relevancia ya que los proyectos de trenes suburbanos no se han estudiado lo suficiente en el contexto latinoamericano. Los resultados señalan que la implementación de estos trenes de cercanías ayudará a reducir la desigualdad en accesibilidad en la Región Metropolitana al atender a grupos prioritarios que se encuentran por debajo de los umbrales de suficiencia identificados.

El principal desafío en la implementación de la metodología propuesta gira en torno a la disponibilidad de datos, particularmente en lo que respecta a información a nivel de hogar, como el nivel socioeconómico y la disponibilidad de modos de transporte. La escasez de datos completos y precisos a este nivel

granular dificulta la aplicación de esta metodología, especialmente en el contexto del Sur Global (Soukhov et al., 2023).

Frente al desafío de incorporar esta evaluación en las actuales metodologías de revisión de proyectos en Chile, resulta fundamental estandarizar procesos críticos que conllevan la incorporación de principios de justicia. Sistematizar la caracterización de los grupos de población, la consideración de distintos tipos de oportunidades y la identificación de los modos de transporte disponibles pueden facilitar las comparaciones entre intervenciones para reducir las deficiencias de accesibilidad. De manera similar, alejarse del enfoque pragmático e identificar umbrales de suficiencia para la accesibilidad y la movilidad potencial (estándares que deberían considerarse aceptables para los profesionales, los formuladores de políticas y los ciudadanos) se convierte en una tarea esencial. Sin estas mejoras metodológicas, será difícil determinar si la distribución (equidad) de los beneficios (accesibilidad) resultantes de un proyecto de transporte contribuye al diseño de un sistema de transporte justo.

5.2. Líneas de investigación futura

Finalmente, se proponen tres líneas de investigación futura. En primer lugar, para avanzar en la implementación de la metodología propuesta en esta tesis, resulta fundamental identificar un valor mínimo de reducción de AFI exigible en la etapa de evaluación social de cada proyecto de transporte. Este valor mínimo debiese estar asociado a la generación de situaciones base, como la utilizada en este estudio, para medir los aportes en justicia en el mérito del proyecto respectivo. Dicho requisito mínimo de reducción de AFI mantendría constante para un horizonte temporal específico, tal como se realiza con los precios sociales en el contexto de las evaluaciones sociales de proyectos de transporte. Esto permitirá clarificar los requisitos para los planificadores que sometan proyectos a consideración.

Una segunda línea de investigación se centra en proponer modificaciones en la formulación de los indicadores utilizados en este estudio. Además de determinar si un proyecto mejora la justicia en el transporte, el Indicador de Justicia de Accesibilidad podría facilitar la identificación de posibles inequidades que podrían surgir como consecuencia de la puesta en marcha de una nueva infraestructura o servicio de transporte. Esto podría medirse a partir de la distancia relativa de un grupo específico al umbral de suficiencia en términos de positivos o negativos. De esta forma, será posible identificar si un proyecto de transporte financiado con recursos públicos recae en grupos de la población que, al estar sobre el umbral de suficiencia, debiesen, siguiendo la teoría de Martens (2017), autofinanciar sus mejoras en accesibilidad.

En cuanto al indicador de movilidad potencial, tal como señala Pucci (2021), la literatura ha promovido definiciones de movilidad potencial de manera más compleja que como medida del rendimiento de un sistema de transporte. Esas otras interpretaciones de la movilidad potencial dependen de destrezas, conocimientos adquiridos, capacidad organizativa y vínculos sociales que posean las personas que utilizan los distintos modos de transporte. Adecuar el indicador de movilidad potencial para incorporar otros desafíos que experimentan las personas en su movilidad diaria podría enriquecer la planificación de transporte bajo principios de justicia.

Por último, en línea con lo anterior, la tercera línea de investigación propuesta se relaciona con la integración de la metodología utilizada en este trabajo con nuevos enfoques emergentes, como el propuesto por Sheller (2018), quien buscó incorporar otras nociones de justicia bajo el concepto de justicia de la movilidad. Por ejemplo, en términos de justicia ambiental, una aplicación innovadora fue desarrollada por Willberg et al. (2023), quienes buscaron medir "accesibilidad justa" considerando las "restricciones planetarias" impuestas por los objetivos ambientales actuales. Estos nuevos enfoques enriquecerían el marco teórico de

esta investigación y permitiría fortalecer la tan necesaria conexión de las dimensiones sociales, ambientales y económicas que componen el desarrollo del transporte sostenible (Feitelson, 2002).

REFERENCIAS

Amorim, J., & Silva, J. de A. e. (2024). Comparing the application of different justice theories in equity analysis of transit projects: A case study of the Lisbon Metro Circular Line. *Journal of Transport and Land Use*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.5198/jtlu.2024.1895>

Basso, F., Frez, J., Martínez, L., Pezoa, R., & Varas, M. (2020). Accessibility to opportunities based on public transport gps-monitored data: The case of Santiago, Chile. *Travel Behaviour and Society*, 21, 140–153. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2020.06.004>

Bhat, C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., Srour, I., & Weston, L. (2001). ASSESSMENT OF ACCESSIBILITY MEASURES. *Work*, 7, 4938–3.

Bruzzone, F., Cavallaro, F., & Nocera, S. (2023). The effects of high-speed rail on accessibility and equity: Evidence from the Turin-Lyon case-study. *Socioeconomic Planning Sciences*, 85, 101379. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101379>

Bueno, P. c., Vassallo, J. m., & Cheung, K. (2015). Sustainability Assessment of Transport Infrastructure Projects: A Review of Existing Tools and Methods. *Transport Reviews*, 35(5), 622–649. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1041435>

Contreras, E. (2004). *Evaluación social de inversiones públicas: Enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica*. Naciones Unidas, CEPAL.

Cox, T., & Hurtubia, R. (2016). Vectores de expansión urbana y su interacción con los patrones socioeconómicos existentes en la ciudad de Santiago. *Revista EURE - Revista de Estudios Urbano Regionales*, 42(127), Article 127. <https://doi.org/10.7764/1683>

Cox, T., & Hurtubia, R. (2021). Subdividing the sprawl: Endogenous segmentation of housing submarkets in expansion areas of Santiago, Chile. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(7), 1770–1786. <https://doi.org/10.1177/2399808320947728>

De Cea, J., Fernández, J. E., Dekock, V., & Soto, A. (2005). Solving network equilibrium problems on multimodal urban transportation networks with multiple

- user classes. *Transport Reviews*, 25(3), 293–317. <https://doi.org/10.1080/0144164042000335805>
- de Jong, G., Fox, J., Daly, A., Pieters, M., & Smit, R. (2004). Comparison of car ownership models. *Transport Reviews*, 24(4), 379–408. <https://doi.org/10.1080/0144164032000138733>
- Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística Ingeniería UC. (2024). *Reporte de Movilidad Urbana de Chile*. <https://reportedemovilidad.ing.uc.cl/>
- Dworkin, R. (2000). *Sovereign Virtue: The Theory and Practice of Equality*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1c3pd0r>
- EFE. (2022a). *Estudio Demanda Servicio Ferroviario Quinta Normal—Batuco*.
- EFE. (2022b). *Estudio Demanda Servicio Ferroviario Alameda—Melipilla*.
- EFE. (2024a). *Tren Melipilla – Estación Central – EFE Trenes de Chile*. <https://www.efc.cl/proyectos/alameda-melipilla/>
- EFE. (2024b). *Tren Santiago-Batuco – EFE Trenes de Chile*. <https://www.efc.cl/proyectos/santiago-batuco/>
- Feitelson, E. (2002). Introducing environmental equity dimensions into the sustainable transport discourse: Issues and pitfalls. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7(2), 99–118. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(01\)00013-X](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(01)00013-X)
- Flyvbjerg, B., & Bester, D. W. (2021). The Cost-Benefit Fallacy: Why Cost-Benefit Analysis Is Broken and How to Fix It. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 12(3), 395–419. <https://doi.org/10.1017/bca.2021.9>
- Foster, J., Greer, J., & Thorbecke, E. (1984). A Class of Decomposable Poverty Measures. *Econometrica*, 52(3), 761–766. <https://doi.org/10.2307/1913475>
- Freiberg, G., Giannotti, M., & Bittencourt, T. A. (2024). Are mass transit projects and public transport planning overlooking uneven distributional effects? Empirical evidence from Sao Paulo, Brazil. *Journal of Transport Geography*, 116, 103825. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103825>
- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>

Guzman, L. A., Arellana, J., & Sarmiento, O. L. (2024). Time use decisions in vulnerable urban communities when implementing innovative transport alternatives. *Travel Behaviour and Society*, 36, 100806. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100806>

Guzman, L. A., Cantillo-Garcia, V. A., Oviedo, D., & Arellana, J. (2023). How much is accessibility worth? Utility-based accessibility to evaluate transport policies. *Journal of Transport Geography*, 112, 103683. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103683>

Guzman, L. A., Oviedo, D., & Rivera, C. (2017). Assessing equity in transport accessibility to work and study: The Bogotá region. *Journal of Transport Geography*, 58, 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.12.016>

Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73–76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307>

Harberger, A. C. (1971). Three Basic Postulates for Applied Welfare Economics: An Interpretive Essay. *Journal of Economic Literature*, 9(3), 785–797. <https://www.jstor.org/stable/2720975>

Harberger, A. C. (1984). Basic Needs versus Distributional Weights in Social Cost-Benefit Analysis. *Economic Development and Cultural Change*, 32(3), 455–474.

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=sso&db=edsjsr&AN=edsjsr.1153331&lang=es&site=eds-live&scope=site&custid=s7489523>

Herrera, M. L. (2018). Enfoques de evaluación social y equidad territorial. *Compendio del Primer Congreso Internacional de Evaluación Social de Proyectos*, 45–47. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/43956-compendio-primer-congreso-internacional-evaluacion-social-proyectos>

Hickman, R., & Dean, M. (2018). Incomplete cost – incomplete benefit analysis in transport appraisal. *Transport Reviews*, 38(6), 689–709. <https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1407377>

Humberto, M. (2023). How to translate justice theory into urban transport metrics? Synchronic assessment of Latin American cities based on equality, priority and sufficiency. *Journal of Transport Geography*, 110, 103630. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103630>

Iglesias, V., Giraldez, F., Tiznado-Aitken, I., & Muñoz, J. C. (2019). How Uneven is the Urban Mobility Playing Field? Inequalities among Socioeconomic Groups in

Santiago De Chile. *Transportation Research Record*, 2673(11), Article 11. <https://doi.org/10.1177/0361198119849588>

INE. (2015). *Actualización de zonas censales*. INE. <https://geoarchivos.ine.cl/File/boletines/Actualización%20Zonas%20Censales.pdf>

INE. (2017). *Censo de Población y Vivienda* [dataset]. <http://www.censo2017.cl/>

Jones, P., & Lucas, K. (2012). The social consequences of transport decision-making: Clarifying concepts, synthesising knowledge and assessing implications. *Journal of Transport Geography*, 21, 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.012>

Karner, A., Pereira, R. H. M., & Farber, S. (2024). Advances and pitfalls in measuring transportation equity. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-023-10460-7>

Litman, T. (2022). Evaluating Transportation Equity: Guidance for Incorporating Distributional Impacts in Transport Planning. *ITE Journal*, 92(4), 43–49.

Lucas, K. (2006). Providing transport for social inclusion within a framework for environmental justice in the UK. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(10), 801–809. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.12.005>

Lucas, K., Martens, K., Di Ciommo, F., & Dupont-Kieffer, A. (Eds.). (2019). *Measuring transport equity* (First edition). Elsevier.

Lucas, K., Mattioli, G., Verlinghieri, E., & Guzman, A. (2016). Transport poverty and its adverse social consequences. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 169(6), 353–365. <https://doi.org/10.1680/jtran.15.00073>

Lucas, K., van Wee, B., & Maat, K. (2016). A method to evaluate equitable accessibility: Combining ethical theories and accessibility-based approaches. *Transportation*, 43(3), 473–490. <https://doi.org/10.1007/s11116-015-9585-2>

Manaugh, K., Badami, M. G., & El-Geneidy, A. M. (2015). Integrating social equity into urban transportation planning: A critical evaluation of equity objectives and measures in transportation plans in North America. *Transport Policy*, 37, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.09.013>

Martens, K. (2006). Basing Transport Planning on Principles of Social Justice. *Berkeley Planning Journal*, 19, 1–17. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=sso&db=eih&AN=25138810&lang=es&site=eds-live&scope=site&custid=s7489523>

Martens, K. (2011). Substance precedes methodology: On cost–benefit analysis and equity. *Transportation*, 38(6), 959–974. <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9372-7>

Martens, K. (2012). Justice in transport as justice in accessibility: Applying Walzer’s ‘Spheres of Justice’ to the transport sector. *Transportation*, 39(6), 1035–1053. <https://doi.org/10.1007/s11116-012-9388-7>

Martens, K. (2017). *Transport justice: Designing fair transportation systems*. Routledge, Taylor & Francis Group.

Martens, K., & Di Ciommo, F. (2017). Travel time savings, accessibility gains and equity effects in cost–benefit analysis. *Transport Reviews*, 37(2), 152–169. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1276642>

Martens, K., Di Ciommo, F., & Papanikolaou, A. (2014). Incorporating equity into transport planning: Utility, priority and sufficiency approaches. *Actas Del XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística, PANAM 2014 | XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística. PANAM 2014 | 11/06/2014 – 13/06/2014 | Santander, España*, 1–16. <http://www.panam2014.unican.es/index.php?lang=es>

Martens, K., & Golub, A. (2021). A Fair Distribution of Accessibility: Interpreting Civil Rights Regulations for Regional Transportation Plans. *Journal of Planning Education and Research*, 41(4), 425–444. <https://doi.org/10.1177/0739456X18791014>

Mas, J.-F. (2018). *Análisis espacial con R: Usa R como un Sistema de Información Geográfica*. European Scientific Institute.

MDS. (2022). *Estimaciones de Pobreza Comunal 2022*. Observatorio Social - Ministerio de Desarrollo Social y Familia. <https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/pobreza-comunal-2022>

Metz, D. (2008). The Myth of Travel Time Saving. *Transport Reviews*, 28(3), 321–336. <https://doi.org/10.1080/01441640701642348>

MINEDUC. (2023). *Directorio de Establecimientos Educativos – Datos Abiertos* [dataset]. <https://datosabiertos.mineduc.cl/directorio-de-establecimientos-educacionales/>

Ministerio del Medio Ambiente. (2020). *Informe del Inventario Nacional de Chile 2020: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018*. Oficina de Cambio Climático.

Mladenović, M. N. (2020). Mobility justice: The politics of movement in an age of extremes: by M. Sheller, London, Verso, 2018, 240 pp., £16.99 (hardback), ISBN: 9781788730921. *Transport Reviews*, 40(1), 117–120. <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1654556>

MTT. (2022). *Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible*.

Nazari Adli, S., & Donovan, S. (2018). Right to the city: Applying justice tests to public transport investments. *Transport Policy*, 66, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.03.005>

Niehaus, M. (2016). *Accesibilidad y equidad: Herramientas para ampliar la evaluación social de proyectos de transporte*. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ING/16909>

Niehaus, M., Galilea, P., & Hurtubia, R. (2016). Accessibility and equity: An approach for wider transport project assessment in Chile. *Research in Transportation Economics*, 59, 412–422. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2016.05.003>

Nussbaum, M. C. (2000). *Women and Human Development: The Capabilities Approach*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511841286>

Nussbaum, M. C. (2011). *Creating Capabilities: The Human Development Approach*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt2jbt31>

Nussbaum, M. C., & Sen, A. (Eds.). (1993). *The Quality of Life*. Oxford University Press.

Observatorio de Ciudades UC. (2020). *Índice socio material territorial ISMT (OCUC)* [dataset].

OECD. (2013). *OECD Urban Policy Reviews, Chile 2013*. Organization for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd-ilibrary.org/urban-rural-and-regional-development/oecd-urban-policy-reviews-chile-2013_9789264191808-en

Olbricht, R. M. (2015). Data Retrieval for Small Spatial Regions in OpenStreetMap. En J. Jokar Arsanjani, A. Zipf, P. Mooney, & M. Helbich (Eds.), *OpenStreetMap in GIScience: Experiences, Research, and Applications* (pp. 101–122). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14280-7_6

Páez, A., Scott, D. M., & Morency, C. (2012). Measuring accessibility: Positive and normative implementations of various accessibility indicators. *Journal of Transport Geography*, 25, 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.03.016>

Pereira, R. H. M. (2019). Future accessibility impacts of transport policy scenarios: Equity and sensitivity to travel time thresholds for Bus Rapid Transit expansion in Rio de Janeiro. *Journal of Transport Geography*, 74, 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.12.005>

Pereira, R. H. M., & Herszenhut, D. (2023). *Introduction to urban accessibility: A practical guide in R*. https://ipeagit.github.io/intro_access_book/en

Pereira, R. H. M., & Karner, A. (2021). Transportation Equity. En R. Vickerman (Ed.), *International Encyclopedia of Transportation* (pp. 271–277). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10053-3>

Pereira, R. H. M., Schwanen, T., & Banister, D. (2017). Distributive justice and equity in transportation. *Transport Reviews*, 37(2), 170–191. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1257660>

Pineda, C., & Mella Lira, B. (2019). Travel Time Savings Perception and Well-Being through Public Transport Projects: The Case of Metro de Santiago. *Urban Science*, 3(1), 35–35. <https://doi.org/10.3390/urbansci3010035>

Pucci, P. (2021). Book review: Transport Justice. Designing Fair Transportation Systems. *Planning Theory*, 20(1), 84–88. <https://doi.org/10.1177/1473095219853093>

Pucci, P., Vecchio, G., Bocchimuzzi, L., & Lanza, G. (2019). Inequalities in job-related accessibility: Testing an evaluative approach and its policy relevance in Buenos Aires. *Applied Geography*, 107, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.04.002>

Red Movilidad. (2023). *¿Qué es Red?* Red Movilidad. <https://www.red.cl/acerca-de-red/que-es-red/>

Ryan, J., & Martens, K. (2023). Defining and implementing a sufficient level of accessibility: What's stopping us? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 175, 103792. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103792>

SECTRA. (2015). *Encuesta Origen-Destino De Viajes Santiago 2012*. Universidad Alberto Hurtado. <https://biblioteca.mtt.gob.cl/documento/28168c0a-d9d3-45b2-a1d7-25f702334b9d>

SECTRA. (2019). *Actualización del Modelo ESTRAUS con Información de la EOD 2012*. Fernández y de Cea Ingenieros Limitada. <https://biblioteca.mtt.gob.cl/documento/b2dec9a8-9f0c-4217-805b-e785d30d54d3>

Sen, A. (1985). Well-Being, Agency and Freedom: The Dewey Lectures 1984. *The Journal of Philosophy*, 82(4), 169. <https://doi.org/10.2307/2026184>

Sen, A. (1999). *Development as Freedom*. Oxford University Press.

Sen, A. (2009). *The Idea of Justice*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjnr7n>

Sheller, M. (2018). *Mobility justice: The politics of movement in the age of extremes*. Verso.

Singer, M. E., Cohen-Zada, A. L., & Martens, K. (2023). Examining the performance of transit systems in large US metropolitan areas. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-022-10368-8>

Soukhov, A., Tarriño-Ortiz, J., Soria-Lara, J. A., & Páez, A. (2024). Multimodal spatial availability: A singly-constrained measure of accessibility considering multiple modes. *PLOS ONE*, 19(2), e0299077. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299077>

Soukhov, A., Tiznado-Aitken, I., Palm, M., Farber, S., & Páez, A. (2023). *Searching for standards of fairness in the transportation justice literature* (MJ-0001). Mobilizing Justice. <https://example.com/summarizing-output>

Sunio, V., Fillone, A., Abad, R. P., Rivera, J., & Guillen, M. D. (2023). Why does demand-based transport planning persist? Insights from social practice theory. *Journal of Transport Geography*, 111, 103666. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103666>

Thomopoulos, N., Grant-Muller, S., & Tight, M. R. (2009). Incorporating equity considerations in transport infrastructure evaluation: Current practice and a proposed methodology. *Evaluation and Program Planning*, 32(4), Article 4. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2009.06.013>

Tiznado-Aitken, I., Muñoz, J. C., & Hurtubia, R. (2018). The Role of Accessibility to Public Transport and Quality of Walking Environment on Urban Equity: The Case of Santiago de Chile. *Transportation Research Record*, 2672(35), 129–138. <https://doi.org/10.1177/0361198118782036>

- Tiznado-Aitken, I., Muñoz, J. C., & Hurtubia, R. (2021). Public transport accessibility accounting for level of service and competition for urban opportunities: An equity analysis for education in Santiago de Chile. *Journal of Transport Geography*, *90*, 102919. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102919>
- Tiznado-Aitken, I., Vecchio, G., Mora, R., Gonzalez, L., & Marshall, C. (2023). Planning for accessibility: The divide between research and policy in the promotion of equitable mobility. *Area Development and Policy*, *0*(0), 1–23. <https://doi.org/10.1080/23792949.2023.2261530>
- Tudela, A., Akiki, N., & Cisternas, R. (2006). Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis: An application to urban transport investments. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *40*(5), 414–423. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.08.002>
- Turbay, A. L. B., Pereira, R. H. M., & Firmino, R. (2024). The equity implications of TOD in Curitiba. *Case Studies on Transport Policy*, 101211. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101211>
- van der Veen, A. S., Annema, J. A., Martens, K., van Arem, B., & Correia, G. H. de A. (2020). Operationalizing an indicator of sufficient accessibility – a case study for the city of Rotterdam. *Case Studies on Transport Policy*, *8*(4), 1360–1370. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.09.007>
- van Wee, B. (2011). *Transport and Ethics: Ethics and the Evaluation of Transport Policies and Projects*. Edward Elgar Publishing.
- van Wee, B., & Mouter, N. (2021). Chapter Five—Evaluating transport equity. En N. Mouter (Ed.), *Advances in Transport Policy and Planning* (Vol. 7, pp. 103–126). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2020.08.002>
- Vanoutrive, T., & Cooper, E. (2019). How just is transportation justice theory? The issues of paternalism and production. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *122*, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.02.009>
- Vecchio, G., & Martens, K. (2021). Accessibility and the Capabilities Approach: A review of the literature and proposal for conceptual advancements. *Transport Reviews*, *41*(6), 833–854. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1931551>
- Vecchio, G., Tiznado-Aitken, I., & Hurtubia, R. (2020). Transport and equity in Latin America: A critical review of socially oriented accessibility assessments. *Transport Reviews*, *40*(3), Article 3. <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1711828>

Walzer, M. (1983). *Spheres of justice: A defense of pluralism and equality*. Basic Books.

Zhou, Y., Zhang, L., & JF Chiaradia, A. (2022). Estimating wider economic impacts of transport infrastructure Investment: Evidence from accessibility disparity in Hong Kong. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 162, 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.05.014>