

**Análisis de la accesibilidad al transporte público en la ciudad de Bucaramanga desde una
perspectiva de desigualdad socioeconómica**

María José Arciniegas Caballero y Ricardo Blanco Porras

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Yerly Fabián Martínez Estupiñán

Magister en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

En este momento tan especial para mí, quiero dedicar este logro, que hasta ahora es uno de los más grandes de mi vida, a mi mamá Alison Zulima Caballero quien ha sido mi motor y la persona de la cual he aprendido todos los valores y virtudes que me trajeron al lugar donde me encuentro hoy, a su esfuerzo y sacrificio durante tantos años para poder culminar mi carrera, gracias Mami por tus consejos, tu amor, tu guía y por enseñarme todo lo que sé hoy en día.

A mi familia por apoyarme y celebrar conmigo todos y cada uno de mis logros, en especial a Andrés Macana, gracias por ser el apoyo para mi mamá y para mí, por enseñarme que debemos luchar por nuestros derechos y así mismo, aplicarlo en todos los aspectos de mi vida.

A Gabriel Carrillo por ser mi compañero y la persona que ha estado en primera fila para apoyarme, brindarme su amor y apoyo incondicional indispensable para terminar esta etapa de mi vida.

Gracias a mi amigo desde el día uno, Ricardo Blanco, gracias por salvarme y darme una mano cuando lo necesitaba, por recorrer conmigo este camino y así mismo terminarlo juntos. Por siempre, gracias.

Desde el fondo de mi corazón gracias, los llevo conmigo siempre.

María José Arciniegas

Dedico este gran logro primeramente a Dios por iluminarme y darme la fortaleza y la sabiduría necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mi mamá Carmenza Blanco Porras por ser la persona que más me apoyó y creyó en mí, me llenó de fuerzas y consejos para hacer siempre las cosas bien y seguir el camino correcto, a sus inmensos esfuerzos y amor que siempre me dio para poder seguir adelante.

A mi padrastro Edwin Miguel Carrascal por apoyar a mi mamá y por apoyarme a mí en esta etapa de mi vida.

A mis abuelos Ricardo Blanco y Ana Belén Porras por siempre velar por mi educación y bienestar, por dedicar gran parte de su vida en inculcarme buenos valores y apoyarme en cada decisión que tomara.

A cada miembro de mi familia que creyó en mí y estuvieron en los momentos importantes de mi vida.

A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron conmigo a pesar de las adversidades y en especial a María José Arciniegas quien recorrió todo este camino junto conmigo desde el inicio hasta el final de esta carrera y por brindarme siempre su apoyo incondicional cuando lo necesitaba, por siempre gracias.

Desde lo más profundo de mi corazón les doy mil gracias a todos.

Ricardo Blanco

Agradecimientos

Al terminar esta etapa tan importante de nuestras vidas queremos desde el fondo de nuestro corazón darle mil gracias a Dios, familiares, amigos y compañeros que desde una forma directa o indirecta estuvieron apoyándonos, dándonos inspiración y fortaleza para cumplir este gran sueño que nos proyectamos y que logramos alcanzar.

Agradecemos inmensamente a la Universidad Industrial de Santander por abrirnos sus puertas y poder ser parte de ella, a la escuela de Ingeniería civil y a sus docentes por instruirnos, en especial a nuestro director de proyecto el ingeniero Yerly Fabián Martínez Estupiñán quien siempre nos apoyó y nos guió en la elaboración de nuestro proyecto de grado.

A todos infinitas gracias.

María José Arciniegas & Ricardo Blanco

Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Marco Teórico.....	11
1.1 Revisión bibliográfica.....	12
1.1.1 Consulta de Base de Datos Bibliográficos.....	12
1.1.2 Análisis para la selección de artículos	15
1.2 Accesibilidad.....	15
1.2.1 Accesibilidad al transporte público.....	16
1.3 Desigualdad: visión general	17
1.3.1 Desigualdad socioeconómica.....	17
1.4 Desigualdad en la accesibilidad al transporte público	18
1.5 Metodologías de estimación de accesibilidad y desigualdad.....	19
1.5.1 Metodologías para determinar la distribución de los ingresos y así poder estimar el grado de desigualdad.....	20
1.5.2 Metodologías para estimar accesibilidad	22
1.5.3 Metodologías para estimar accesibilidad al transporte público	23
1.6 Estudios relacionados.....	24
1.6.1 Antecedentes Internacionales.....	24
1.6.2 Antecedentes Nacionales	26

1.7 Percepción del transporte público de los ciudadanos del área metropolitana de Bucaramanga.....	32
1.7.1 Percepción ciudadana BMCV – 2019.....	32
1.7.2 Encuesta Nacional de Calidad de Vida – ECV 2018.....	33
1.7.3 Reactivación Económica de Bucaramanga.....	34
1.7.4 Uso de transporte público según BMCV – 2018	36
2. Metodología	38
2.1 Proximidad a las paradas de transporte público.....	39
2.2 Accesibilidad a lugares de trabajo por transporte público	39
3. Cálculo de accesibilidad	40
4. Resultados	41
4.1 Accesibilidad a los puestos de trabajo en transporte público	41
4.2 Población cubierta por la proximidad a las paradas y rutas del transporte publico	44
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	48
Referencias Bibliográficas	51

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Artículos de investigación relacionados con temas de accesibilidad al transporte público publicados por países obtenidos de Scopus	14
Figura 2. Artículos de investigación publicados por año relacionados con accesibilidad al transporte público obtenidos de Scopus.....	14
Figura 3. Ejemplo de curva de Lorenz.....	21
Figura 4. Grado de satisfacción por transporte público.	33
Figura 5. Tiempo que se gasta en llegar a un paradero o estación de transporte público.	34
Figura 6. Porcentaje total de viajes realizados en transporte público desde cada municipio hacia diferentes sitios del área metropolitana de Bucaramanga.	35
Figura 7. Ejemplo del porcentaje de viajes hechos en automóvil y en moto.....	36
Figura 8. Porcentaje de la población que se moviliza en transporte público en cada municipio del área metropolitana de Bucaramanga.	37
Figura 9. Distribución del AMB por estrato socioeconómico.	43
Figura 10. Accesibilidad a los puestos de trabajo del AMB.....	43
Figura 11. Accesibilidad a los puestos de trabajo del AMB.....	44
Figura 12. Porcentaje de población cubierta para las paradas y rutas de transporte público en el área metropolitana.....	45
Figura 13. Porcentaje de población cubierta por las paradas y rutas del transporte público en cada municipio del área metropolitana, clasificada por estratos socioeconómicos.	47

Resumen

Título: Análisis de la accesibilidad al transporte público en la ciudad de Bucaramanga desde una perspectiva de desigualdad socioeconómica*

Autores: María José Arciniegas Caballero y Ricardo Blanco Porras**

Palabras Clave: Desigualdad, accesibilidad, estratificación socioeconómica, transporte público.

Descripción

En muchas ciudades de Colombia la desigualdad socioeconómica es un aspecto notorio y que marca muchas diferencias en la calidad de vida de las personas. Es evidente que las personas con menos recursos tienen a su vez un menor acceso a salud, educación y transporte, y el área metropolitana de Bucaramanga (AMB) no es ajena a dicha problemática. Sin embargo, muchas veces la accesibilidad a diferentes servicios se ve aún más limitada porque no existen condiciones adecuadas para acceder a un modo de transporte eficiente que les permita a las personas alcanzar esos otros servicios. En este artículo se presenta la aplicación de una metodología que utiliza la medida de oportunidad acumulada para medir la accesibilidad a los puestos de trabajo y la proximidad a las rutas y paradas de transporte público en el AMB. Se trabajó con información de las rutas y paradas del sistema de transporte público del AMB, como son el Sistema Integrado de Transporte Metrolínea y Transporte Público Colectivo Complementario. Asimismo, con dicha información se realizó un cruce con los niveles de estratificación socioeconómica de la población, para obtener qué porcentaje de la población tiene mayor y menor acceso a los puestos de trabajo según el estrato al que pertenecen. Los resultados generales muestran que las personas de estrato 1, 5 y 6 son las que tienen menor accesibilidad a los puestos de trabajo debido a su ubicación; y los estratos 2 y 3 son los que tienen mayor accesibilidad y donde se concentra la mayor cantidad de población del área metropolitana de Bucaramanga, demostrando así que existe la desigualdad, aunque el 70% de la población cubierta tenga acceso a una gran cantidad de puestos de trabajo.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Yerly Fabián Martínez Estupiñán, Magister en Ingeniería Civil

Abstract

Title: Analysis of accessibility to public transport in the city of Bucaramanga from a perspective of socio-economic inequality*

Authors: María José Arciniegas Caballero y Ricardo Blanco Porras**

Keywords: Inequality, accessibility, socioeconomic stratification, public transport.

In many cities in Colombia, socioeconomic inequality is a notorious aspect that marks many differences in people's quality of life. It is clear that people with fewer resources have lower access to health, education, transport, and Bucaramanga metropolitan area (AMB) is unaware of this problem. However, accessibility to different services is often further limited because there are no adequate conditions for accessing an efficient transport mode that allows people to reach those other services. This article presents the application of a methodology that uses the measure of accumulated opportunity to measure accessibility to jobs and proximity to public transport routes and stops in the AMB. We worked with information on the routes and bus stops of the AMB public transport system, such as the Metrolinea Integrated Transport System and Complementary Public Transport. This information was also used to cross-reference the population's socioeconomic stratification levels to determine the percentage of the people with the most significant and least access to jobs according to the stratum to which they belong. Overall results show that people in stratum 1, 5, and 6 have less accessibility to employment because of their location. Strata 2 and 3 have greater accessibility. The most significant amount of the population is concentrated in the metropolitan area of Bucaramanga, showing that there is inequality, even though 70% of the population covered has access to a large number of jobs.

* Project of grade

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Yerly Fabián Martínez Estupiñán, Magister en Ingeniería Civil

Introducción

El transporte público es un servicio que beneficia a gran parte de la población pues ofrece transporte a un precio asequible recorriendo distancias largas que con otros medios de transporte serían muy costosos, dando la posibilidad a cientos de personas de acceder a sus lugares de trabajo todos los días. Asimismo, al ser un modo que transporta grandes cantidades de personas, contribuye a que los niveles de congestión vehicular se mitiguen en las ciudades.

En Colombia el transporte público es uno de los servicios que se ha ido deteriorando por la falta de inversión y el mal manejo, lo que hace que la calidad de vida de las personas que dependen diariamente de este servicio, especialmente las de recursos más bajos, se vea afectada.

Es por esto que nace la idea de este proyecto, que busca evidenciar cómo favorece el sistema de transporte público a la población del área metropolitana de Bucaramanga (AMB) y la accesibilidad a sus sitios de trabajo. Por todas estas razones es importante saber si el sistema de transporte público cumple con su función y beneficia a las personas de todos los estratos socioeconómicos o si por el contrario solo beneficia a ciertos sectores de la ciudad. De esta manera poder aportar en la discusión de soluciones que ayuden a mejorar la calidad de vida de las personas del AMB por medio del transporte público.

En esta investigación se estimó el acceso a los sitios de trabajo de la industria de manufactura y construcción. Además, se realizó un análisis de proximidad a las paradas y rutas del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea y Transporte Público Colectivo Complementario (TPCC) y se combinó con un análisis de estratificación socioeconómica y una clasificación urbana del AMB por estratos.

Para el análisis se utilizó el método de medida de oportunidad acumulada para medir la accesibilidad a los puestos de trabajo por medio del transporte público. En dicha metodología se tomaron en cuenta la cantidad de trabajos a los que se puede acceder utilizando el transporte público, todo esto fijando un umbral de tiempo de viaje.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 presentamos la revisión de la literatura enfocada en la investigación de las metodologías que existen para calcular accesibilidad y cómo se ha aplicado en varias ciudades del mundo. La sección 3 presenta la metodología y la información requerida para aplicarla. La Sección 4 presenta la aplicación de la metodología escogida en el área metropolitana de Bucaramanga. La Sección 5 presenta los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología, teniendo así el análisis de cómo se ve influenciada la accesibilidad según el estrato socioeconómico. Finalmente, en la Sección 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

1. Marco Teórico

A continuación, se explica cómo se llevó a cabo el proceso de revisión bibliográfica, se dan a conocer los conceptos, las metodologías y los trabajos a nivel nacional e internacional, que fueron analizados en esta investigación.

1.1 Revisión bibliográfica

La información analizada se obtuvo de la revisión de diferentes medios bibliográficos como revistas científicas, libros, artículos científicos y trabajos académicos a partir de la búsqueda en plataformas como Google Scholar, bases de datos y motores de búsqueda como SciELO y Scopus, que se encontraban disponibles en la biblioteca virtual de la Universidad Industrial de Santander.

Inicialmente se revisaron los conceptos generales con respecto a accesibilidad, accesibilidad al transporte público, desigualdad socioeconómica y desigualdad en la accesibilidad al transporte público, con el fin de comprender y profundizar en los conceptos más relevantes para llevar a cabo la investigación. Posteriormente se clasificaron los estudios de accesibilidad al transporte público encontrados teniendo en cuenta si eran de carácter internacional, nacional y local, así como las metodologías de análisis empleadas en cada uno de ellos.

1.1.1 Consulta de Base de Datos Bibliográficos

Para obtener referencias confiables en la revisión bibliográfica se optó por la plataforma Scopus la cual es una base de datos de gran relevancia internacional, no solamente recopila información bibliográfica, sino que analiza el comportamiento de las citas recibidas por las revistas y con base a esto permite generar una gran cantidad de indicadores bibliométricos y de citaciones (Rodríguez, 2013). En la búsqueda se obtuvieron alrededor de 1.300 artículos que relacionaban los temas de accesibilidad al transporte público desde diferentes perspectivas, y alrededor de 350

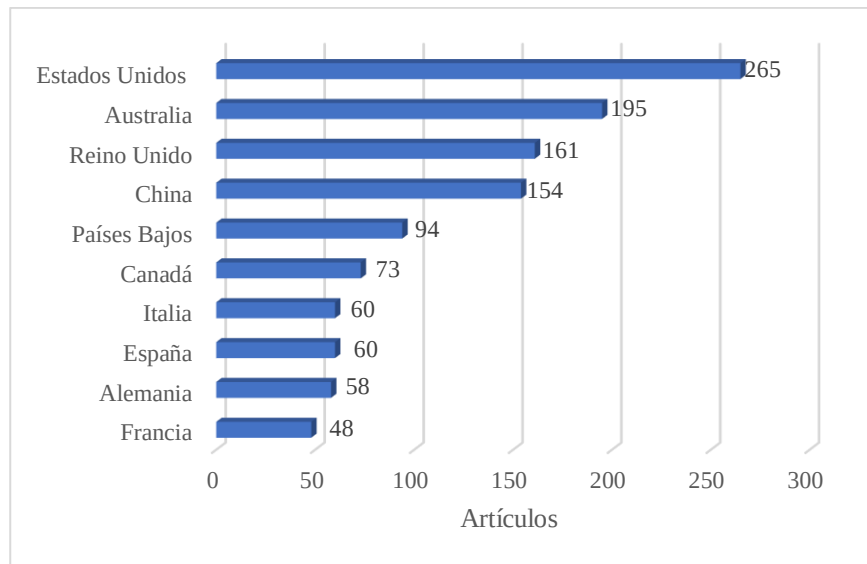
artículos específicos con temas de accesibilidad al transporte público bajo un enfoque de equidad y desigualdad.

En la **Gráfica 1** se muestran la cantidad de artículos que se publican por países a partir del año 2000 en temas relacionados con accesibilidad al transporte público. Entre los diez países que más publicaciones tienen, se destaca en primer lugar Estados Unidos, seguido de Australia y Reino Unido. Cabe resaltar que Brasil es el país latinoamericano con más artículos publicados en temas de accesibilidad al transporte público y seguido a este se encuentra Colombia en el puesto 26 entre todos los países del mundo.

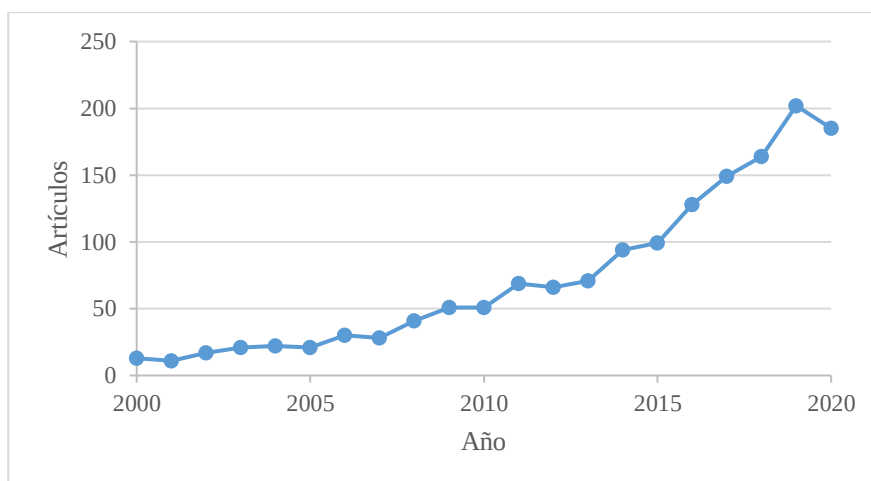
La **Gráfica 2** muestra la cantidad de artículos que se han publicado en temas relacionados con la accesibilidad al transporte público desagregados por año a partir del año 2000 hasta mediados del año 2020. Se observa que las investigaciones en este campo han tenido una tendencia creciente y que en el 2019 es donde se ha dado una mayor cantidad de publicaciones de artículos relacionados con el tema de investigación. Este aumento significativo muestra la relevancia que ha venido tomando el tema de accesibilidad y equidad en el transporte público y el papel que juega en la agenda administrativa y de toma de decisiones de diferentes gobiernos e investigadores a nivel nacional.

Figura 1.

Artículos de investigación relacionados con temas de accesibilidad al transporte público publicados por países obtenidos de Scopus

**Figura 2.**

Artículos de investigación publicados por año relacionados con accesibilidad al transporte público obtenidos de Scopus



1.1.2 Análisis para la selección de artículos

A partir de la revisión bibliográfica que se hizo se preseleccionaron 50 documentos que analizaban la relación entre accesibilidad y desigualdad poblacional. Posteriormente se depuraron dichos documentos de los cuales se escogieron 25 artículos y se realizó un análisis mucho más detallado de ellos donde se profundizó en la comprensión de las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos. La información detallada del análisis de los 25 artículos seleccionados se presenta en el **Anexo 1**.

Los artículos seleccionados corresponden a estudios hechos en diferentes ciudades del mundo, donde plantean una idea clara de accesibilidad al transporte público bajo un enfoque de desigualdad socioeconómica. En el **Anexo 1** se muestran las diferentes metodologías que se emplearon para medir accesibilidad y desigualdad, además se resaltan los resultados más relevantes encontrados y en la mayoría sobresale un resultado en común y es que los hogares más desfavorecidos en términos de accesibilidad al transporte público son principalmente aquellos con bajos ingresos económicos.

1.2 Accesibilidad

La definición más antigua de accesibilidad la plantea Hansen en 1959 donde expone que la accesibilidad captura “el potencial de las oportunidades de interacción” (Hansen, 1959) y puede entenderse como la “facilidad de acceso al uso del suelo dado el sistema de transporte” (Levinson & Krizek, 2007). También la accesibilidad puede definirse como una herramienta que determina las condiciones existentes y los medios disponibles para alcanzar las actividades que son necesarias

en el desarrollo humano (Sabogal, Escobar, & Oviedo, 2018). Otras definiciones plantean la accesibilidad como la relación con las tres formas básicas de actividad humana: movilidad, comunicación y comprensión; las tres sujetas a limitación como consecuencia de la existencia de barreras (Sánchez, s.f.). La habilidad para obtener servicios claves y acceder a oportunidades (Tyler, Ramírez, Ortigón, & Acevedo, 2013). Una medida de la facilidad o dificultad (costo) asociado a que un grupo de individuos lleguen a ciertos destinos determinados (Tyler, Ramírez, Ortigón, & Acevedo, 2013).

En términos generales y en función al objeto de investigación, definiremos la accesibilidad como la facultad que tiene toda personas para poder alcanzar un servicio determinado sin que haya factores externos que impidan la realización de tal acción.

1.2.1 Accesibilidad al transporte público

Como se mencionó anteriormente, la accesibilidad se define en el contexto de la geografía del transporte como “la medida de la capacidad de un lugar para ser alcanzado, o para alcanzar diferentes lugares. La capacidad y la estructura de la infraestructura del transporte son elementos claves en la determinación de la accesibilidad”. Por tanto, la accesibilidad es la meta última en el transporte, a excepción de una pequeña proporción de los viajes cuya finalidad es el viaje en sí mismo y que carecen de un destino prefijado, como hacer *footing* o conducir por placer, entre otros. Es decir, el transporte debe cumplir criterios no sólo relacionados con la eficacia de los servicios en cuanto a su funcionamiento (tiempos de viaje, frecuencias en que se accede, etc.) sino también debe ser eficiente socialmente; debe permitir acceder en igualdad a los equipamientos y servicios existentes, al puesto de trabajo o al centro de estudio (Talavera & Valenzuela, 2014).

1.3 Desigualdad: visión general

Debido a que el objeto de la investigación no solo se enfocaba en accesibilidad, se incluyó un análisis con base en criterios de desigualdad poblacional, se hizo necesario usar una definición general del concepto de desigualdad y además identificar cómo se relacionaba con la accesibilidad al transporte público.

Definimos desigualdad a la cualidad de ser una cosa diferente de otra, o de distinguirse de otra por tener características, valores o rasgos que la hacen diferente. Es lo opuesto a la igualdad (Significados, s.f.). La desigualdad no se trata solo de la riqueza, el patrimonio neto, o de los ingresos, el sueldo bruto. También puede abarcar la expectativa de vida, la facilidad que tienen las personas para acceder a los servicios de salud, la educación de calidad o los servicios públicos. Hay desigualdades entre los géneros y entre los grupos sociales (Noticias ONU, 2019).

1.3.1 Desigualdad socioeconómica

La desigualdad económica puede interpretarse como la diferencia que existe en la distribución de bienes, ingresos y rentas en el seno de un grupo, una sociedad, un país o entre países. Según el informe sobre la desigualdad global de 2018 elaborado por World Inequality Lab, la desigualdad de ingresos ha crecido de forma gradual desde el año 1980 a pesar del crecimiento de países como China. El aumento de la desigualdad ha supuesto que el 1% de las personas con mayores ingresos en el mundo reciba una proporción dos veces más elevada del crecimiento que el 50% de menores ingresos desde 1980 (ACNUR, 2018).

Para Colombia en el 2018 el DANE presentó un análisis sobre la desigualdad en el ingreso de los hogares en nuestro país. En este análisis se presentó el valor del coeficiente de Gini, el cual es una medida económica que sirve para calcular la desigualdad de ingresos que existe entre los ciudadanos de un territorio (definición más completa en la sección 2.5.1). Siendo para nuestro país de 0,517 en comparación al del 2017 que fue de 0,508, demostrando con esto un aumento en el nivel de desigualdad entre la población, resultado que reflejaba que los hogares con peores condiciones de vida en nuestro país tenían cada vez menos ingresos en comparación a los hogares con mayor ingreso (Revista Dinero, 2019).

1.4 Desigualdad en la accesibilidad al transporte público

Aunque la movilidad es un requisito para participar en la "vida moderna" (por ejemplo, para ir al trabajo, acceder a los servicios, etc.), lo cierto es que la movilidad está distribuida de manera desigual. Desafortunadamente, esta declaración es una descripción muy precisa de las ciudades latinoamericanas. De hecho, los ciudadanos de menores ingresos tienen que luchar a diario para llegar a las ubicaciones de los recursos y oportunidades urbanas debido a los obstáculos para realizar sus desplazamientos. Además, en su mayoría estos ciudadanos viven alejados de las zonas de trabajo por lo cual deben movilizarse diariamente durante tiempo de viaje considerables (Hernandez, 2017).

Las ciudades de América Latina experimentan claros recortes entre sectores sociales ricos con acceso a bienes y servicios diversos y adecuados para satisfacer sus necesidades y una gran parte de la población que aún no cuenta con una provisión suficiente (Falavigna & Hernandez, 2016) (Vasconcellos, 2018) (Ureta, 2008). Es así como la movilidad diaria constituye una muy

buena muestra de este acceso desigual a los servicios primarios (Hernandez, 2017). Si, por ejemplo, la red de tránsito es deficiente y los hogares tienen que usar medios privados, entonces su capacidad para llegar a lugares dependerá de su desempeño en el mercado y de su capacidad para pagar, por ejemplo, automóviles (Hernandez, 2017).

También la baja accesibilidad en transporte público a puestos de trabajos influye en la tasa de empleo informal en personas de bajos ingresos. Algunos ejemplos de dichos efectos se encontraron en la Región Metropolitana de Sao Paulo, que, para hacer frente a la falta de opciones de movilidad, muchos hogares de bajos ingresos optan por la proximidad como estrategia lo que limita el número de oportunidades (empleo, salud, educación) que pueden alcanzar y costear (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020).

Lo que se puede concluir al observar estos estudios es que se va generando un “círculo vicioso” donde la desigualdad socioeconómica sigue incrementando mientras la falta de accesibilidad al transporte público siga siendo tan marcada en sectores de menos ingresos, al menos en las ciudades de Latinoamérica. Por esto resulta de gran importancia analizar cómo son los niveles de accesibilidad al transporte público en la ciudad de Bucaramanga en los diferentes grupos sociales, especialmente en los estratos bajos.

1.5 Metodologías de estimación de accesibilidad y desigualdad

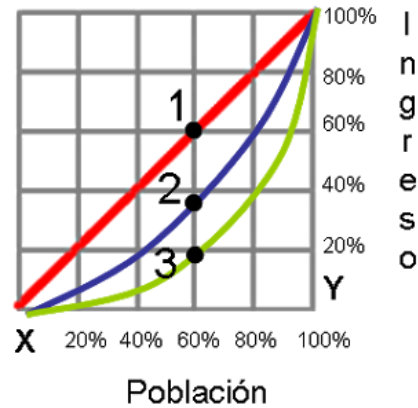
La accesibilidad es un parámetro de estudio que se puede medir mediante modelos matemáticos como el modelo de accesibilidad gravitacional. Estos modelos pueden variar y ajustarse dependiendo de la finalidad de análisis que se desee llevar a cabo. De igual forma, la desigualdad es un parámetro que tiene gran impacto en la determinación de la accesibilidad ya que

puede convertirse en una barrera para alcanzar diferentes servicios como salud, educación, trabajo, transporte, etc. La desigualdad se puede estimar mediante la determinación del coeficiente de Gini y así tener una medida cuantitativa del grado de desigualdad de una determinada zona. A continuación, se presentan dos metodologías muy utilizadas que permiten cuantificar los niveles de desigualdad. Además, se presentan seis metodologías utilizadas en el cálculo de accesibilidad.

1.5.1 Metodologías para determinar la distribución de los ingresos y así poder estimar el grado de desigualdad

➤ Curva de Lorenz

La curva de Lorenz es un método gráfico que permite una representación de la desigualdad en el reparto de la renta existente en un determinado territorio (normalmente un país). En ella, se sitúa en el eje X los acumulados de población (P) expresados en tanto por ciento y en el eje Y los acumulados de renta (Q) expresados en tanto por ciento. A partir de lo anterior, se puede interpretar que cuánto más cerca esté la curva de la recta que une el (0,0) con el (1,1), mejor estará distribuida la renta, siendo la citada recta la distribución más igualitaria posible, en la que todos los ciudadanos de una población dispondrán exactamente de los mismos ingresos. De la misma forma, cuanto mayor sea el área que queda entre la citada recta y la curva, mayor será la desigualdad existente (Montero, 2014).

Figura 3.*Ejemplo de curva de Lorenz*

Nota. Tomado de: Economipedia (s.f.) Curva de Lorenz Recuperado de: <https://economipedia.com/definiciones/curva-de-lorenz.html>

➤ Coeficiente de Gini

El coeficiente de Gini es una medida económica que sirve para calcular la desigualdad de ingresos que existe entre los ciudadanos de un territorio, normalmente de un país. El valor del índice de Gini se encuentra entre 0 y 1, siendo cero la máxima igualdad (todos los ciudadanos tienen los mismos ingresos) y 1 la máxima desigualdad (todos los ingresos los tiene un solo ciudadano). Este mismo concepto de desigualdad se puede representar gráficamente mediante la curva de Lorenz (Montero, 2014).

1.5.2 Metodologías para estimar accesibilidad

➤ **Accesibilidad gravitacional**

Esta metodología en sus diferentes variantes es uno de los métodos más usados. Esta medida considera un conjunto de destinos J, cada uno con un atractivo o importancia O (Oportunidades), y para los cuales desde cada punto i en el espacio hay un costo C para llegar al destino (diferente para cada destino y cada punto en el espacio) (Hurtubia & Cox, 2015).

$$ACC_{ij} = O_j / C_{ij} \quad (1)$$

➤ **Accesibilidad gravitacional recíproca**

Cuando se necesite calcular la accesibilidad integral, es decir saber para cada punto cuál es su accesibilidad a todos los destinos de cierto tipo (por ejemplo, Accesibilidad a hospitales: desde una zona en la ciudad a cada uno de los hospitales) Para esto, simplemente se suman las accesibilidades relativas (Hurtubia & Cox, 2015).

$$ACC_i = \sum_{j=1}^J O_j / C_{ij} \quad (2)$$

➤ **Accesibilidad acumulativa primaria**

Mide la accesibilidad por el número de oportunidades alcanzables, bajo una predefinida impedancia (o decadencia espacial) de viaje. La medida de acceso acumulativo primaria con la función de impedancia se muestra con la formulación generalizada de la ecuación, donde la notación en negrita (O_j y C_{ij}), indica matrices de accesibilidad, oportunidades y costos, y las funciones (g y f) oportunidades de descuento y costos, respectivamente, basados en la disminución del valor de las oportunidades con número y costo (Wu & Levinson, 2020).

$$ACC_i = \sum_{j=1}^J g(O_j) f(C_{ij}) \quad (3)$$

➤ **Ponderación por personas**

La accesibilidad ponderada por persona, o un promedio regional, está dada por:

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^I A_i P_i}{\sum_{i=1}^I P_i} \quad (4)$$

Donde: (Pi) es el número personas que realizan viajes y que experimentan la accesibilidad relevante (Wu & Levinson, 2020).

1.5.3 Metodologías para estimar accesibilidad al transporte público

➤ **Accesibilidad bajo un indicador de oportunidad acumulativa**

Está dada por la siguiente ecuación:

$$ACC_i = \frac{\sum_{j=1}^n Opp_j f(C_{ij})}{\sum_{j=1}^n Opp_j} \quad (5)$$

Dónde ACC_i es la accesibilidad de las personas que residen en el área i a todas las oportunidades (expresadas como un porcentaje) en el área j. $\sum_{j=1}^n Opp_j$ es el número total de oportunidades en la ciudad y $f(C_{ij})$ una función de ponderación (Hernandez, 2017).

➤ **Accesibilidad potencial basada en la ubicación**

estima la accesibilidad de las oportunidades de la zona origen (i) a todas las demás zonas (j), teniendo en cuenta que las oportunidades más pequeñas o lejanas serán menos atractivas o más difíciles de alcanzar. El modelo utilizado se muestra en la Ecuación:

$$ACC_i^m = \sum_j O_j e^{(-\beta_i^m c_{ij}^m)} \quad (6)$$

Dónde ACC_i^m es la accesibilidad potencial de la zona i para el modo de transporte m, O_j son las oportunidades disponibles en el destino j, C_{ij}^m representa el costo generalizado de transporte

por modo m , es decir, la fricción de viajar entre las zonas ij y β es un parámetro de calibración por origen i y por modo m , dado por el modelo de gravedad (Guzmán, Oviedo, & Rivera, 2015).

1.6 Estudios relacionados

A continuación, se presentan estudios relevantes que se han realizado en temas de accesibilidad y equidad en el servicio de transporte público a nivel internacional y nacional.

1.6.1 Antecedentes Internacionales

➤ **Montevideo:** Se exploró el acceso desigual a las oportunidades urbanas entre las diferentes clases sociales. Se calculó la accesibilidad potencial del transporte público a dos tipos de oportunidades cruciales: empleos y educación. Los resultados muestran una distribución desigual de la movilidad potencial, especialmente para empleos y educación pública de nivel superior (Wu & Levinson, 2020).

➤ **Corvallis, Oregón:** Se realizó un análisis comparativo de los desafíos en la medición de la equidad de tránsito: definiciones, interpretaciones y limitaciones. Fue una investigación que estudió la equidad en la distribución de servicios de transporte público a grupos desfavorecidos. Los resultados que se obtuvieron mostraron que los más jóvenes y los ancianos experimentan una desigualdad mucho mayor en comparación al resto de la población (Carleton & Porter, 2018).

➤ **Santiago de Chile:** Se establecieron métodos para medir la accesibilidad y se construyeron indicadores de aporte a la equidad que permitieron mejorar el análisis de proyectos de movilidad urbana. Uno de los resultados obtenidos fue que la accesibilidad media al empleo en

las modelaciones es bastante baja al considerar también el costo monetario. Particularmente, para el modo de transporte público, cuyo mínimo baja considerablemente cuando se pondera más fuerte la caminata y espera (Niehaus, 2016).

➤ **México:** Se propuso el diseño de un indicador de accesibilidad a servicios públicos y privados para ser utilizado cotidianamente en tareas de planeación urbana en el contexto nacional. Los resultados del índice de accesibilidad mostraron un paisaje mucho más realista y complejo que la simple aplicación de radios normativos de cobertura. Así, las áreas de la ciudad donde se localizan las unidades de salud mostraron elevados niveles de accesibilidad, las áreas adyacentes registran niveles de accesibilidad intermedios, y las áreas más alejadas de las unidades de salud consideradas éstas en conjunto, como un verdadero sistema muestran niveles de accesibilidad bajos o muy bajos (Garrocho & Campos, 2006).

➤ **Mérida, España:** Se analizó el nivel de accesibilidad de la población residente en la ciudad de Mérida al servicio de autobús urbano. Para ello se empleó la medida de oportunidades acumuladas, el indicador de accesibilidad absoluta y el parámetro de tiempos mínimos. Para el estudio se contó con información de la red vial, datos de las paradas del servicio de autobús urbano e información del lugar de residencia de la población (portales). Entre los resultados se obtuvo que la zona central que provee de buena parte de los servicios a la ciudad tiene una alta accesibilidad. Por tanto, la configuración de la red del servicio de bus urbano en relación con la trama urbana podía considerarse adecuada (Gutiérrez, Berrocal, Ruiz, Jaraíz, & Su, 2014).

➤ **Brasil:** El objetivo del estudio fue evaluar la equidad de los servicios de transporte público en cuatro regiones metropolitanas de Brasil (São Paulo, Río de Janeiro, Curitiba y Recife) con dos indicadores de prestación de transporte público de uso común. El primer indicador midió la proximidad a la infraestructura de tránsito rápido (paradas de autobús de tránsito rápido, tren

ligero y tren pesado con alta frecuencia durante todo el día), y el segundo midió la accesibilidad a los puestos de trabajo mediante el transporte público. Los resultados demostraron que los hogares de menores ingresos están en desventaja en términos de servicios de transporte público en las cuatro áreas metropolitanas. Además, también se resaltó la importancia de cuantificar la accesibilidad en transporte público, además de la proximidad al tránsito rápido, y por lo tanto permitieron analizar la importancia de desarrollar horarios de transporte público y datos geográficos disponibles abiertamente (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020).

1.6.2 Antecedentes Nacionales

➤ **Bogotá:** El estudio se enfocó en calcular el indicador de accesibilidad con el fin de medir las inequidades entre ingresos (bajo, medio y alto) y modos de transporte (Automóvil, Transporte público y Transmilenio). Los resultados de accesibilidad en automóvil mostraron mayor beneficio del modo para las zonas alejadas del centro- viajes largos, de manera similar sucede esto con el sistema Transmilenio. Por el contrario, el transporte público convencional se beneficia en las zonas cercanas al centro- viajes cortos (Guzmán, Oviedo, & Rivera, 2015).

➤ **Cali:** Corresponde a un estudio de caso en el que se analizaron las condiciones del transporte público de Santiago de Cali (Colombia) y la reforma a la estructura de toda la ciudad debido a la entrada en funcionamiento del sistema de transporte masivo MIO, así como las mejoras en el transporte público que tuvo la ciudad con la implementación de este sistema. Aunque los estudios de transporte urbano tradicionales no suelen tener en cuenta las necesidades de transporte social, este trabajo destaca un problema que está afectando gravemente a amplios grupos de América Latina que sufren exclusión social, y a través del cálculo del índice de necesidades

sociales del transporte demuestra que la planificación y gestión de los sistemas de transporte público debe tener en cuenta mecanismos que incluyan las necesidades sociales en el proceso de toma de decisiones (Jaramillo, Lizarraga, & Grindlay, 2012).

➤ **Pasto:** Se realizó un análisis del nivel de servicio que presta el sistema de transporte público colectivo urbano en esta ciudad, desde una perspectiva de accesibilidad. Se elaboraron las curvas isócronas de tiempo mediante la aplicación del software Surfer 8.0. Se realizó el mismo proceso considerando las propuestas de cambio en el sistema de Transporte Público Colectivo Urbano (TPCU) formuladas en el Plan Integral de Tránsito y Transporte (PITT) para la ciudad de Pasto, para finalmente realizar una comparación cuantitativa y cualitativa entre los dos escenarios estudiados, escenario inicial y final. Como el escenario inicial se hizo referencia al sistema actual de TPCU, con su infraestructura, parque automotor y recorridos que hacen que la ciudad tenga un grado de accesibilidad determinado, así mismo se entendió como escenario final el que resultó después de realizar las mejoras a la red de transporte. Dado a que el fin principal del PITT era brindar una mayor movilidad a la ciudad, al plantear la modificación de las rutas del TPCU, se encontró que, al comparar las rutas para el escenario final con las rutas del escenario inicial, las medidas recomendadas ayudaban a la movilidad como tal, pero se disminuía la accesibilidad en la mayoría de los nodos, ya que al comparar el valor de tiempo medio en las matrices para los diferentes nodos, se observó que en la mayoría de los nodos se aumentó el tiempo medio de acceso,. Esto fue debido a que las mejoras planteadas al sistema no alcanzaron a suplir la desaparición de 15 conexiones entre nodos, y no se logró disminuir el tiempo para acceder a cada nodo (Torres, 2006).

➤ **Manizales:** Se analizó la posición geoespacial del principal sector universitario de la ciudad de Manizales y su relación con las características operativas de la red de transporte y el

estrato de sus principales usuarios (estudiantes y docentes). La metodología aplicada se basó en cuatro etapas teniendo como objetivo el análisis de accesibilidad media integral ofrecida por la red de transportes a la comunidad universitaria, a través de un modelo geoestadístico. Según los resultados que se obtuvieron, los docentes son quienes gozan de unas mejores condiciones de accesibilidad, ya que en términos promedio, los estudiantes deben invertir un 50% más de tiempo medio de viaje para llegar a los nodos objetivo (Younes, Escobar, & Holguín, 2016).

➤ **Bucaramanga:** Para el caso más específico de la ciudad de Bucaramanga en el 2015 la ciudad fue declarada por el Banco Mundial en su estudio de "Ciudades de Latinoamérica, entre las más competitivas del mundo" como la ciudad más próspera de América Latina y ejemplo para el mundo (Banco Mundial, 2015), y aunque es una de las ciudades con los índices más bajos de pobreza en el país hay estudios que demuestran gran desigualdad en la distribución de sus ingresos dependiendo del estrato socioeconómico. Por ejemplo, a pesar de que en el 2015 Bucaramanga tenía un coeficiente Gini de 0,407 que fue menor respecto a otras ciudades y al país en general, este puntaje representa una concentración de los ingresos significativa que aún denota la existencia de amplias brechas sociales en la ciudad (Galvis & Silva, 2016). Con tales niveles de desigualdad se niega a los habitantes clasificados en la escala más baja de la distribución tener más capacidades para generar mayores ingresos y con ello mejor calidad de vida (Galvis & Silva, 2016).

Ahora, si se trata de relacionar los niveles de desigualdad con la accesibilidad al transporte público que hay en Bucaramanga y su área metropolitana, los estudios son escasos. Revisando la literatura acerca de estudios de accesibilidad en Bucaramanga, se encuentra el estudio realizado por (Manrique, Cordera, Moreno, & Oreña, 2020), donde se hizo un análisis de la eficiencia del sistema integrado de transporte masivo Metrolínea lavajo un enfoque de accesibilidad. Dicho trabajo de investigación expuso que, el desarrollo del Área Metropolitana de Bucaramanga ha

estado concentrado principalmente bajo criterios de expansión de los sectores residencial y comercial sin considerar el papel que juega el transporte en la conectividad de dichas zonas, lo que ha producido una red congestionada y un aumento en el uso del transporte informal e ilegal. Los autores afirman que los usuarios prefieren viajes de larga duración en automóvil en lugar de utilizar el transporte público. La investigación propuso una metodología que fusiona un modelo de transporte utilizando el software Visum y un modelo de uso del suelo implementado en el lenguaje Python para analizar el acceso al transporte público. Se utilizaron cuatro submodelos integrados: transporte, ubicación residencial, ubicación de actividades económicas, y accesibilidad. Los resultados indican dónde el SITM es ineficiente debido a factores como la estructura en red del transporte público basada en una ruta troncal de la que solo se beneficia la población central, y que constituye un sistema rígido que no facilita la movilidad transversal. La falta de interconexión entre cuatro municipios (Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta) provoca una baja equidad en la provisión de transporte público e indica una reestructuración urgente para brindar rutas acordes a la demanda, y reubicación de paradas, con el fin de obtener un servicio más equitativo y evitar un exceso de oferta en áreas específicas. Además, los autores manifiestan que para evaluar el comportamiento de la población que usa el transporte público se deben incluir variables socioeconómicas, el uso de la tierra y la nueva infraestructura (Manrique, Cordera, Moreno, & Oreña, 2020).

Otro estudio encontrado para la ciudad de Bucaramanga corresponde a un análisis de accesibilidad hecho a los parques de la ciudad (Rivera, 2014). En esta investigación se realizó una exploración en 130 parques de la ciudad analizando su estado en referencia al mantenimiento, limpieza y posibilidad de uso para el normal desarrollo de actividades recreativas. Así como las percepciones, comportamientos y usos de los usuarios, para lo cual se emplearon varias fuentes de

información, como charlas informales con usuarios de estos parques, una encuesta y diferentes fuentes documentales y fotográficas. Una importante conclusión que se obtuvo es que la falta de aseo, la presencia de grupos de jóvenes consumidores de drogas, la ausencia de policía, la deficiente iluminación y las acciones de vandalismo (p. ej., el destrozo de juegos infantiles y del mobiliario deportivo, la agresión contra los monumentos, el hurto de farolas, etc.) y el inadecuado comportamiento ciudadano (p. ej. utilizar los espacios públicos como letrinas para humanos y animales) están presentes en la vida cotidiana de los parques de la ciudad. Esto ha generado percepciones negativas en los ciudadanos. Una vez en este punto, el parque, como espacio público, deja de crear bienestar y empieza a provocar efectos contrarios, así, en lugar de generar un aumento en la calidad de vida, puede llegar a incentivar el deterioro de la misma (Rivera, 2014).

Otro estudio revisado en esta tesis correspondió a una investigación relacionada con la accesibilidad a la infraestructura física de las universidades de la ciudad (Quintero, 2013). El objetivo de la investigación fue evaluar las condiciones de accesibilidad en la infraestructura física de las universidades de Bucaramanga y su área metropolitana, siendo espacios de participación académica, laboral y cultural. Se realizó un estudio descriptivo de corte transversal (investigación observacional que analiza datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población muestra o subconjunto predefinido), que incluyó a siete Instituciones de Educación Superior que contaban con más de cuatro mil estudiantes en Bucaramanga y su área Metropolitana. Como conclusión se obtuvo que es evidente que, pese a las normas existentes y a los aportes hacia el camino de la inclusión, los esfuerzos que se identificaron por hacer ambientes accesibles se delimitan en cumplir ciertos requerimientos, evidenciando desconocimiento de la normativa. Es así, que, al evaluar cada edificio de las universidades, era más notorio la ausencia de un entorno accesible, desde su entrada hasta el interior de la edificación, sin embargo, se encontraron

edificaciones que permitían el acceso, pero estas no cumplieron a cabalidad los requerimientos del instrumento evaluativo de accesibilidad (Quintero, 2013).

Otro estudio reciente que hace referencia al análisis de accesibilidad es el estudio de estimación de la accesibilidad por modo de transporte y motivo de viaje para la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, un análisis desde una perspectiva de la estratificación socioeconómica (Cavadia & Pérez, 2020). El análisis se realizó para los modos de transporte público representado por el SITM Metrolínea y buses convencionales, caminata y vehículo particular. Además, en dicho estudio se incluyó como variable adicional en el análisis el estrato socioeconómico de la zona donde se originaba el viaje. Se realizó el cálculo de accesibilidad integral a los diferentes puntos de destino utilizando el indicador de separación espacial empleando las funciones recíproca y exponencial negativa, esta última fue descartada al realizar el análisis de los resultados y encontrar que no se ajustaba a las condiciones de viaje de la población en el área metropolitana de Bucaramanga. Los principales resultados mostraron que las personas pertenecientes al estrato 1 son quienes presentan menor accesibilidad debido a su ubicación geográfica la cual se encuentra en su mayoría al norte del área metropolitana. Cabe resaltar que para el sector construcción los modos de transporte de vehículo particular, transporte público y caminata del municipio de Bucaramanga todos presentan alta accesibilidad, este resultado se debe en parte a que existe una infraestructura vial considerable que permite que los tres modos analizados puedan circular con comodidad (Cavadia & Pérez, 2020).

Sin embargo, los estudios relacionados con desigualdad en la accesibilidad al transporte público son muy reducidos para la ciudad de Bucaramanga y no dan mucha claridad de cómo esto se refleja en el nivel socioeconómico de la ciudadanía. Por tal razón se identificó la necesidad de

plantear esta investigación para identificar como la desigualdad socioeconómica en la ciudad se convierte en un factor que influye en la accesibilidad al transporte público.

1.7 Percepción del transporte público de los ciudadanos del área metropolitana de Bucaramanga

En esta sección se presentan cifras acerca de la percepción de los ciudadanos del transporte público obtenidas a partir de la revisión de resultados de las encuestas de Percepción Ciudadana “BUCARAMANGA METROPOLITANA Cómo Vamos (BMCV) - 2019 y la Encuesta Nacional de Calidad de Vida – ECV 2018 realizada por el DANE. Además, dado que en la actualidad Bucaramanga no cuenta con una encuesta de movilidad actualizada se decidió usar información de la página web de la Alcaldía de Bucaramanga denominada “*Reactivación Económica de Bucaramanga*” donde la Alcaldía de Bucaramanga recopiló información del proceso de reactivación económica después del confinamiento que se produjo en todo el país por la COVID-19. La información que se obtuvo de esta página web corresponde a los modos de transporte usados por cada uno de los trabajadores de las empresas del área metropolitana de Bucaramanga que retomaban labores después del confinamiento obligatorio.

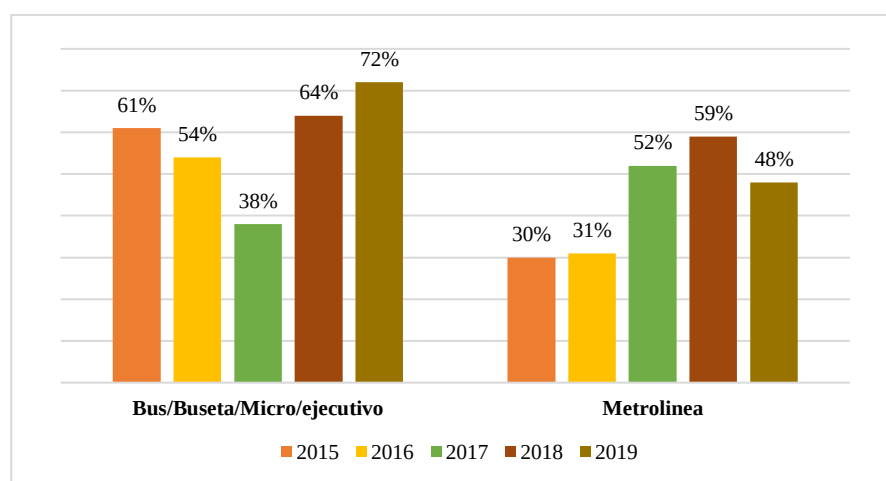
1.7.1 Percepción ciudadana BMCV – 2019

Según los resultados de la encuesta de Percepción ciudadana BMCV que se muestran en la Figura 4, el grado de satisfacción que sienten los ciudadanos del área metropolitana de Bucaramanga al utilizar el transporte público ha venido incrementado ligeramente desde el año

2015. Sin embargo, para el SITM Metrolínea el nivel de satisfacción que manifiestan los usuarios con el servicio prestado ha disminuido, pasando de un 59% para el año 2018 a un 48% para el año 2019. Teniendo en cuenta factores como la baja frecuencia de las rutas, el alto nivel de ocupación de los buses en horas pico o las grandes distancias que hay desde los lugares de origen hasta las paradas hace que el nivel de satisfacción por usar el SITM disminuya considerablemente.

Figura 4.

Grado de satisfacción por transporte público.



Nota. Elaborado a partir de los datos de la encuesta Percepción ciudadana BMCV – 2019.

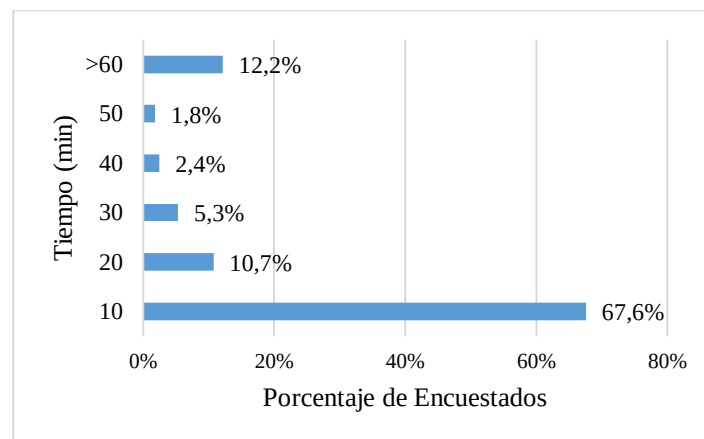
1.7.2 Encuesta Nacional de Calidad de Vida – ECV 2018

Revisando la información de la Encuesta de Calidad de Vida realizada en el año 2018 a nivel de departamentos por el DANE, específicamente la pregunta: ¿Cuánto tiempo gasta usted caminando para llegar a un paradero o estación de transporte público?, en la **Gráfica 4** se muestra los resultados a esta pregunta para el departamento de Santander. Se puede observar que más del 50% de las personas gastan alrededor de 5 minutos. Aunque cabe señalar que hay un porcentaje

considerable (12.2%) de personas que gastan 60 minutos o más en llegar a una parada de transporte público. Sin embargo, estos resultados son una muestra que los paraderos y estaciones de transporte público en el casco urbano cuentan con una cobertura aceptable, debido a que la gran mayoría de usuarios no gastan un tiempo excesivo para llegar a los paraderos.

Figura 5.

Tiempo que se gasta en llegar a un paradero o estación de transporte público.



Nota. Elaborado a partir de los resultados de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida – ECV 2018.

1.7.3 Reactivación Económica de Bucaramanga

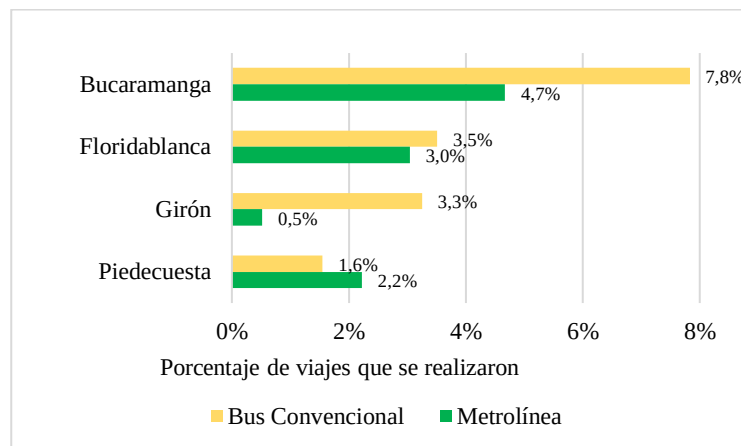
A partir del registro de la página web *Reactivación Económica* desarrollado por la Alcaldía de Bucaramanga para el año 2020 se hizo la estimación de los viajes que se realizan en transporte público en el área metropolitana de Bucaramanga durante el proceso de reactivación económica durante la pandemia de la COVID-19. El análisis presentado toma en cuenta como origen y destino a cada municipio del área metropolitana de Bucaramanga. Teniendo en cuenta los orígenes de cada

viaje se establece que en Bucaramanga el 12,5% de los viajes totales se realizaron en transporte público, en Floridablanca fue el 6,55%, en Girón fue el 3,77% y para Piedecuesta fue de 3,77%.

En la **Gráfica 5.** se presenta el porcentaje de viajes en total que se hicieron en transporte público desde Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta hacia el área metropolitana de Bucaramanga.

Figura 6.

Porcentaje total de viajes realizados en transporte público desde cada municipio hacia diferentes sitios del área metropolitana de Bucaramanga.

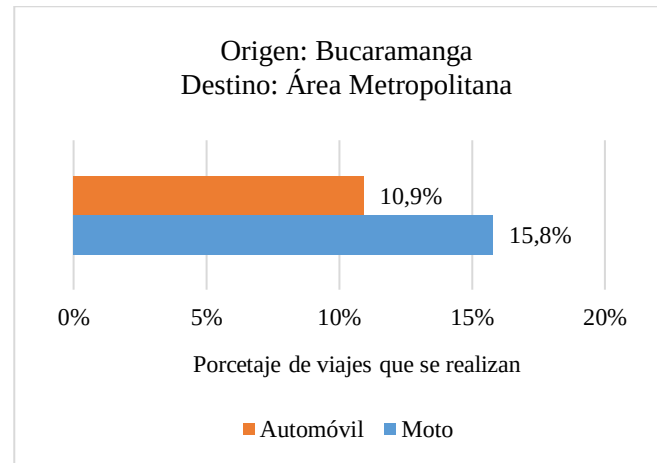


Nota. Elaborado a partir del registro de reactivación económica de Bucaramanga. Tomado de https://emergencia.bucaramanga.gov.co/empresas/reactivacion_economica_bga.html

Partiendo del hecho de que se tuvo una base poblacional de aproximadamente 195.000 trabajadores en el área metropolitana de Bucaramanga, el uso de transporte público es muy reducido en comparación al uso del vehículo particular o al uso de la motocicleta.

Figura 7.

Ejemplo del porcentaje de viajes hechos en automóvil y en moto



Nota. Elaborado a partir del registro de reactivación económica de Bucaramanga. Tomado de https://emergencia.bucaramanga.gov.co/empresas/reactivacion_economica_bga.html

De nuevo se observa que el sistema Metrolínea es menos usado que el transporte público convencional, a excepción del municipio de Piedecuesta.

También se puede deducir que el uso reducido del transporte público se debe en parte a la pandemia por la COVID-19, debido a que gran parte de la población no usa el transporte público por temor a contagiarse, por lo que opta movilizarse en otro medio de transporte más seguro.

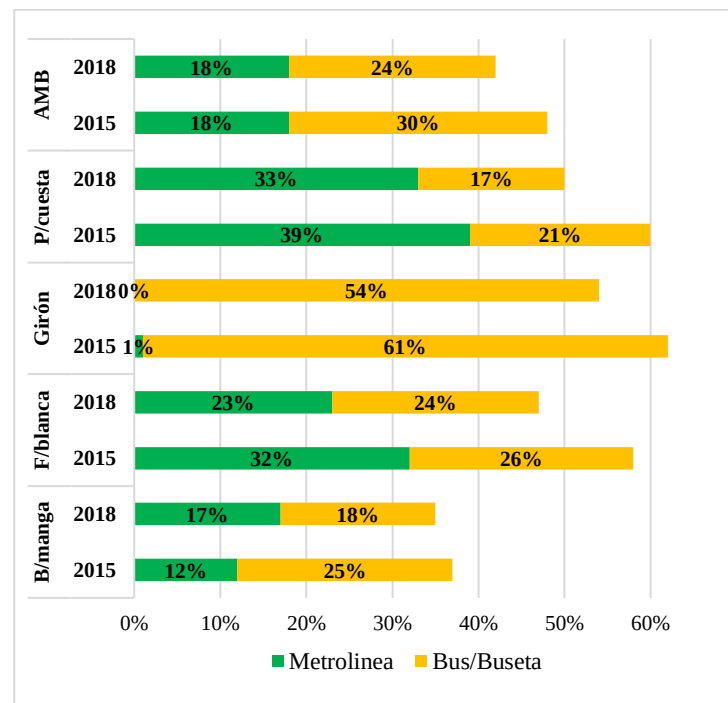
1.7.4 Uso de transporte público según BMCV – 2018

Para obtener datos que reflejan mejor el uso del transporte público en el área metropolitana de Bucaramanga antes de la pandemia, se hace referencia a la encuesta de percepción ciudadana BMCV – 2018, donde muestra el comparativo entre el porcentaje de población del área metropolitana de Bucaramanga de los años 2015 y 2018, que hicieron uso del transporte público

como modo de transporte principal. Dichos porcentajes de personas se muestran en la **Gráfica 7.** que se presenta a continuación.

Figura 8.

Porcentaje de la población que se moviliza en transporte público en cada municipio del área metropolitana de Bucaramanga.



Nota. Elaborado a partir de los datos de la encuesta Percepción ciudadana BMCV – 2018.

De nuevo se puede observar que Metrolínea presenta menos uso que el transporte público convencional, esto en gran parte se podría deber a factores ya antes mencionados como la baja frecuencia de las rutas, el alto nivel de ocupación de los buses en horas pico o las grandes distancias que hay desde los lugares de origen hasta las paradas. Otra observación que cabe resaltar es que la cantidad de población que hizo uso del transporte público en el año 2018 se redujo

considerablemente en comparación al año 2015, donde un factor que pudo influenciar esa baja fue el crecimiento del parque automotor de uso privado y el informal en el área metropolitana de Bucaramanga.

2. Metodología

En esta sección se muestra la metodología que se empleó para calcular la accesibilidad al transporte público. Se utilizó una medida de oportunidad acumulada, esta medida cuenta la cantidad de trabajos a los que se puede llegar desde cada tramo censal utilizando el transporte público, por debajo de un umbral de tiempo de viaje específico. La metodología seleccionada ha sido aplicada en diferentes estudios de ciudades latinoamericanas de países como Brasil, Uruguay y en ciudades colombianas como Cali y Bogotá (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020). Se decidió utilizar esta metodología después de un análisis de varias metodologías que fueron presentadas en la sección 2.5, ya que presentaba una gran ventaja con respecto a otras metodologías y era principalmente por el uso de datos de fácil acceso y que para el caso de Bucaramanga si estaban disponibles.

La metodología aplicada en este trabajo utiliza principalmente información de secciones censales como unidad de análisis. A partir de dicha información se desarrollan dos medidas de prestación de servicios de transporte público. Una primera medida se centró en la accesibilidad a los puestos de trabajo, por transporte público, para reflejar el desempeño del sistema de transporte público en relación con la ubicación de los centros de actividad. Una segunda medida de

accesibilidad consistió en la estimación de la proximidad a las paradas de transporte público (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020).

2.1 Proximidad a las paradas de transporte público

La proximidad a las paradas se midió utilizando un enfoque de amortiguación. Se generaron dos tipos de amortiguadores alrededor de las paradas de transporte público. El primero se midió en función de la distancia aérea (zona de influencia circular). El segundo usaba la distancia de la red de calles (búfer de calles) para reflejar el acceso a pie a las paradas (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020).

2.2 Accesibilidad a lugares de trabajo por transporte público

Se utilizó una medida de oportunidad acumulada para medir la accesibilidad a los trabajos en transporte público. Esta medida cuenta la cantidad de trabajos a los que se puede llegar desde cada tramo censal utilizando el transporte público, por debajo de un umbral de tiempo de viaje específico. También dicha medida está altamente correlacionada con las medidas basadas en la gravedad. Se calcula de la siguiente manera:

$$A_i = \sum_{j=1}^n O_j f(C_{ij}) ; f(C_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{si } C_{ij} \leq t \\ 0 & \text{si } C_{ij} > t \end{cases} \quad (7)$$

Donde A_i es la accesibilidad en el punto i a todos los trabajos en la celda j de la cuadrícula, O_j el número de trabajos en la celda j de la cuadrícula, $f(C_{ij})$ es la función de ponderación siendo C_{ij} el costo de tiempo de viaje desde el centroide de i al centroide de j y t , el umbral de tiempo de viaje (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020).

3. Cálculo de accesibilidad

En el cálculo de las medidas de accesibilidad se utilizó un buffer para establecer el área de influencia de cada parada de transporte público. En el estudio hecho en Brasil para las medidas de accesibilidad en São Paulo, Río de Janeiro, Curitiba y Recife, se utilizó una zona de influencia de 1 km para reflejar la distancia que las personas están dispuestas a caminar para acceder a las estaciones rápidas, lo que representa un intervalo de 10 a 15 minutos distancia caminando. Si bien las distancias más cortas (400 m) se utilizan típicamente para paradas de transporte regulares (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020). Para el caso de Bucaramanga en el estudio hecho recientemente del análisis de equidad en el acceso al transporte público utilizó un buffer con un área de influencia concéntrica de 300 m en cada parada (Manrique, Cordera, Moreno, & Oreña, 2020). En este estudio se utilizó un buffer de 400 metros para las paradas y rutas de transporte público, que representaba un tiempo de caminata entre 5 y 8 minutos y un buffer de 800 metros que representaba un tiempo de caminata entre 10 y 15 minuto. La decisión de tomar dichos valores para los buffers es sustentada con base en las investigaciones encontradas en el estudio hecho en Brasil (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020), donde si bien las distancias más cortas (400 m) se utilizan típicamente para paradas de transporte regulares (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020), las investigaciones muestran que las personas están dispuestas a caminar distancias más largas para acceder al servicio de tránsito rápido (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020). Esto también es consistente con Delmelle y Casas (2012) quienes consideraron una variedad de umbrales que van desde 0.375 km (5 min) a 1.5 km (20 min) para evaluar la proximidad al BRT en Cali, Colombia.

Para estimar la accesibilidad a los lugares de trabajo, en el caso de Brasil utilizaron dos umbrales de tiempos de viajes diferentes, esto debido al tamaño de las ciudades donde hicieron el análisis de accesibilidad. Para São Paulo y Río de Janeiro utilizaron un umbral de tiempo de 60 minutos y, para Curitiba y Recife utilizaron un umbral de tiempo de 45 minutos (Boisjoly, Serra, Oliveira, & El-Geneidy, 2020). En nuestro caso de estudio, debido a que Bucaramanga y su área metropolitana es pequeña, sus tiempos de viaje son cortos, por dicha razón utilizamos un umbral de tiempo de viaje de 45 minutos.

4. Resultados

En esta sección se presenta los resultados que se obtuvieron después del análisis hecho a la accesibilidad al transporte público del AMB desde una perspectiva socioeconómica. Los resultados se presentan para el análisis de proximidad a las paradas y rutas de transporte público y el análisis a la accesibilidad a los sitios de trabajo bajo un umbral de tiempo de 45 minutos.

4.1 Accesibilidad a los puestos de trabajo en transporte público

La accesibilidad a los puestos de trabajos se calculó en función de un umbral de tiempo de 45 minutos. Para el cálculo de dicho umbral de tiempo el AMB se dividió en una grilla con cuadrículas de 500x500 metros. Posteriormente se calculó el tiempo de recorrido por cuadrícula

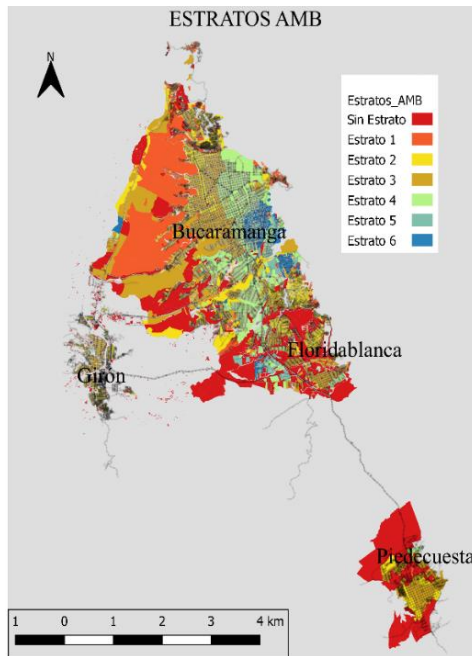
teniendo en cuenta una velocidad en transporte público de 28 km/h, lo que daba como resultado un tiempo de recorrido de 1,07 minutos.

Adicionalmente se calculó un tiempo de caminata para las cuadrículas donde no pasaba una ruta de transporte público dentro del AMB obteniendo valores entre 6 y 8.57 minutos según la topografía del terreno; en los sectores donde las pendientes son menos pronunciadas se estimó una velocidad de caminata de 5 Km/h obteniendo así un tiempo de recorrido para una cuadrícula de 6 minutos y para los sectores donde las pendientes son más pronunciadas se estimó una velocidad de caminata de 3.5 Km/h obteniendo así un tiempo de 8.57 minutos para cada cuadrícula. En los **Anexos 2 y 3** se representa la distribución de los trabajos (Construcción y Manufactura) y de tiempos en el AMB

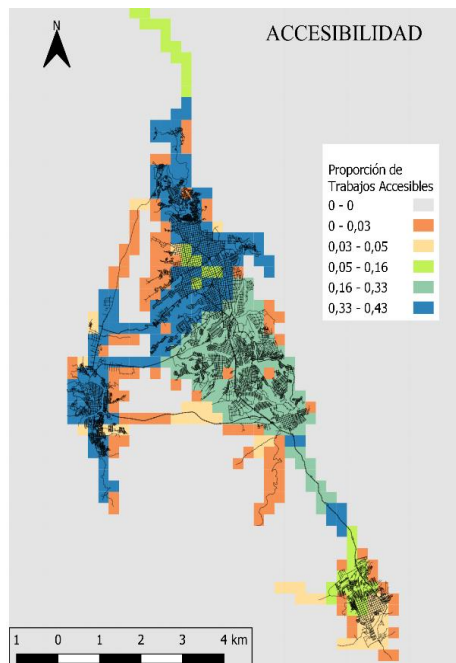
En las **Figuras 2 y 3** se presentan la distribución del AMB por estratos y la accesibilidad a los puestos de trabajo en transporte público respectivamente. En este trabajo de investigación la accesibilidad se representa como la proporción de los puestos de trabajo que son alcanzados usando el transporte público en el AMB. Una vez obtenida la accesibilidad a los puestos de trabajo para un tiempo de recorrido no mayor a 45 minutos en transporte público, se hizo un cruce de capas utilizando la herramienta QGis donde se calcularon las proporciones de trabajos que quedaban en cada categoría de accesibilidad.

Figura 9.

Distribución del AMB por estrato socioeconómico.

**Figura 10.**

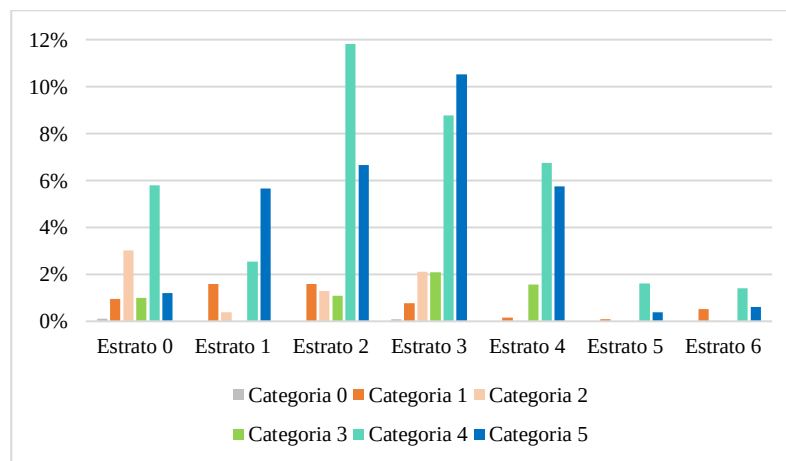
Accesibilidad a los puestos de trabajo del AMB.



La proporción de trabajos accesibles se divide en 5 categorías, donde la categoría 1 representa el 3% de los trabajos accesibles totales, la categoría 2 representa el 5%, la categoría 3 representa el 16%, la categoría 4 el 33% y la categoría 5 el 43%. Cabe mencionar que la categoría 0 corresponde a los sectores despoblados del AMB

Figura 11.

Accesibilidad a los puestos de trabajo del AMB.



De acuerdo a la **Gráfica 8** La población del AMB se clasificó por estratos y categorías, un aspecto que resalta en el análisis de la gráfica es que la categoría 5, tiene una proporción de trabajos accesibles del 43% y comprende el 31% de la población total del AMB. Adicionalmente, en esta misma categoría se observa que el 11% de la población pertenece al estrato 3.

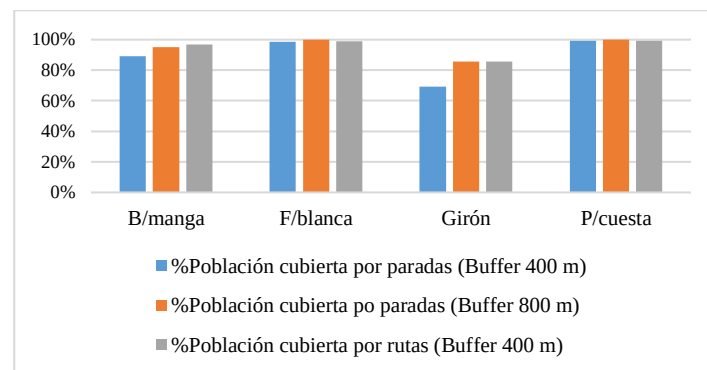
4.2 Población cubierta por la proximidad a las paradas y rutas del transporte público

La proporción de población que se beneficia por la proximidad que tienen a las paradas y rutas del transporte público del AMB se presenta en la **Gráfica 9**. Se observa que cerca del 100%

de la población se encuentra en el rango estimado por los buffers de 400 y 800 metros, que representan un tiempo de caminata hasta las paradas y rutas entre 5-8 minutos y entre 10-15 minutos respectivamente, estos tiempos varían entre sí debido a la topografía del AMB.

Figura 12.

Porcentaje de población cubierta para las paradas y rutas de transporte público en el área metropolitana.



Nota. Elaborado a partir del cruce del shape de paradas y rutas de transporte público para buffer de 400 y 800 metros con el shape de población urbana del área metropolitana de Bucaramanga.

Estos resultados muestran una buena distribución de paradas y rutas en la mayoría de los sectores del AMB. Además, este resultado también se obtiene dada la forma alargada que tiene el área urbana del AMB que permite tener una ciudad poco extendida de forma horizontal. Otro aspecto relevante que se observa que la población del municipio de Girón es la que tiene menor proximidad a las paradas y rutas del transporte público, esto debido principalmente a las pocas paradas y rutas que hay en el municipio.

Adicionalmente se analizó la distribución de los estratos para la proporción de población beneficiada por la proximidad a las paradas y rutas del transporte público para el área

metropolitana representada en la **Grafica 10**. Se presenta este análisis principalmente para conocer el grado de desigualdad en la accesibilidad a las paradas y rutas del transporte público.

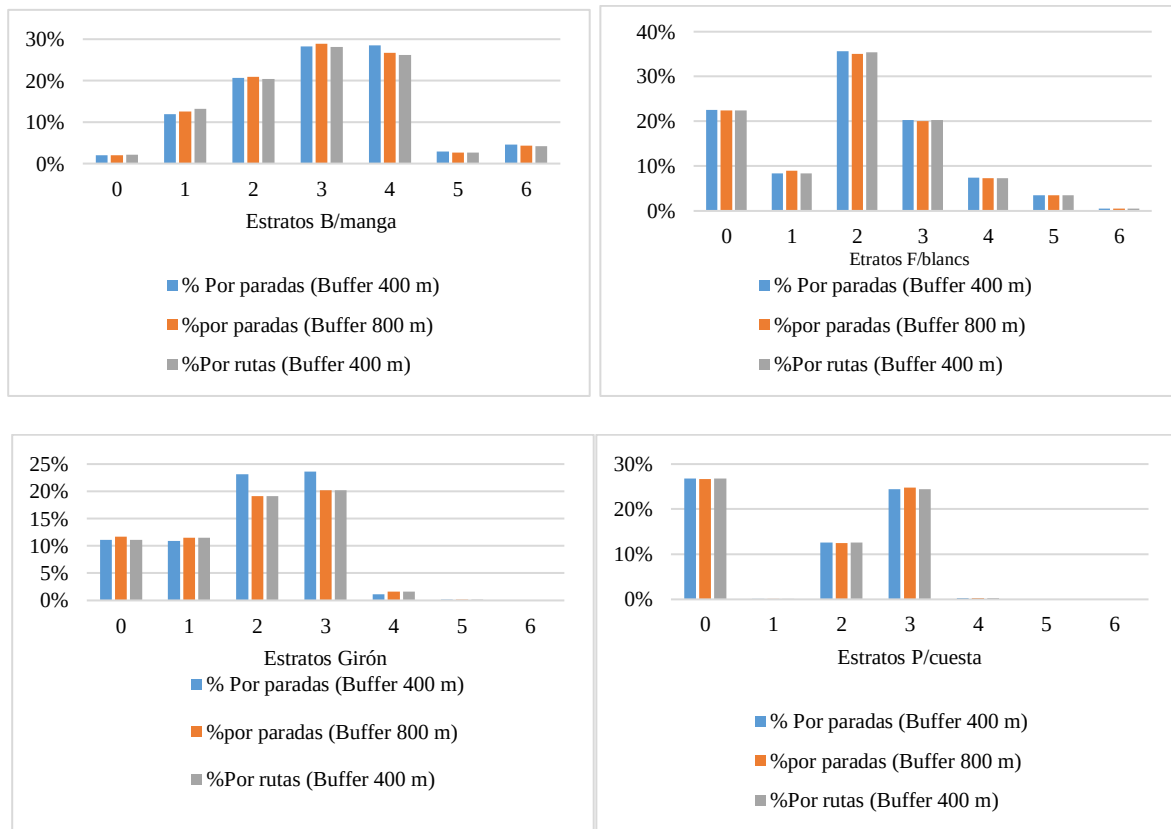
Se observa que en el AMB la proporción de población para los estratos 5 y 6 que se beneficia es muy poca o nula, esto se debe a que en algunos municipios no hay población clasificada para estos estratos como son el caso de Piedecuesta y Girón. Para los municipios de Floridablanca, Girón y Piedecuesta encontramos que un gran porcentaje de la población no se encuentra estratificada, por lo que se entiende que es población de muy bajos recursos o sectores que han surgido procesos de ocupación ilegal (invasiones), sin embargo, cuentan con una proximidad aceptable a las paradas y rutas de transporte público, aunque la infraestructura vial y peatonal no se la más adecuada.

Para la ciudad de Bucaramanga cerca del 60% de la población cubierta por las paradas y recorridos de las rutas pertenecen a los estratos 3 y 4, siendo los grupos socioeconómicos más beneficiados por la proximidad a las rutas y paradas del transporte público. Para Floridablanca el 55% de la población cubierta pertenece a los estratos 2 y 3 así como para el municipio de Girón donde el 45% de la población cubierta pertenece a estos mismos estratos. Para Piedecuesta la mayoría de la población (50%) que se beneficia de su cercanía a las rutas y paradas de transporte público se encuentran en los estratos 0 (26%) y el estrato 3 (24%).

En términos generales se observa que los estratos bajos (0, 1, 2 y 3) presentan buena proximidad a las paradas y rutas. En los estratos 4, 5 y 6 la proximidad a las paradas es baja (exceptuando la ciudad de Bucaramanga para el estrato 4), este resultado depende del análisis de estratificación poblacional en el que se observó que en el AMB los sectores pertenecientes a los estratos altos son muy pequeños en comparación con los estratos 1, 2 y 3, que abarcan más del 70% del AMB, esto explica el resultado obtenido.

Figura 13.

Porcentaje de población cubierta por las paradas y rutas del transporte público en cada municipio del área metropolitana, clasificada por estratos socioeconómicos.



Nota. Elaborado a partir del cruce del shape de población cubierta por paradas y rutas de transporte público para buffer de 400 y 800 metros con el shape de estratificación socioeconómica del área metropolitana de Bucaramanga.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Este trabajo de investigación permitió aplicar una metodología de accesibilidad para identificar el grado de accesibilidad al transporte público desde una perspectiva socioeconómica. La ventaja a en el uso de esta metodología es que puede ser utilizada en países como el nuestro, donde el acceso a la información es escasa.

Después de hacer un riguroso análisis de la bibliografía para diferentes tipos de metodologías que estimaban accesibilidad y debido a que la información a la que se tenía acceso era muy limitada, la metodología que mejor se ajustaba para esta investigación con esas condiciones, se optó por utilizar la metodología que se desarrolló en esta investigación.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación dejan ver que existe un grado de desigualdad en la distribución de opciones de accesibilidad al transporte público y aunque no son tan evidentes o marcadas según el estrato socioeconómico, no puede desconocerse el impacto negativo que genera en la ciudadanía al momento de movilizarse a sus sitios de trabajo. Los resultados encontrados muestran que el estrato 1 es el que cuenta con menor porcentaje en población con proximidad a las paradas y rutas de transporte público y con baja accesibilidad a los puestos de trabajo por transporte público. Esta situación se podría mejorar aumentando las rutas de transporte público para los sectores del AMB donde no llega este servicio.

Se resalta que el 70% de la población del AMB tiene accesibilidad al 76% de los puestos de trabajos del AMB en transporte público. La metodología utilizada en esta investigación beneficia este resultado ya que la forma alargada del AMB permite abarcar mayores puestos de

trabajo en menos tiempo, por ejemplo, se podría recorrer la ciudad de Bucaramanga de norte a sur siendo este su lado más extenso en transporte público en un tiempo no mayor a 45 minutos.

Tomando como referencia el artículo de estimación de la accesibilidad por modo de transporte y motivo de viaje para la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, un análisis desde una perspectiva de la estratificación socioeconómica (Cavadia & Pérez, 2020), es necesario aclarar que, aunque en dicha investigación se hizo un análisis similar acerca de la accesibilidad, nuestro trabajo de investigación se concentra exclusivamente en el transporte público. Por lo cual se aplicó una metodología diferente que se basa en la proximidad a las paradas y rutas de transporte público y la accesibilidad a los puestos de trabajo por transporte público en función de un umbral de tiempo establecido. En cuanto a los resultados entre las dos investigaciones ambos coinciden en identificar que existe un considerable grado desigualdad socioeconómica en el AMB, aunque difieren en que los niveles de desigualdad para nuestro caso no son tan altos en comparación al estudio anteriormente mencionado; esto se debe a principalmente a que en la investigación (Cavadia & Pérez, 2020) se realizó una estimación de la accesibilidad para varios modos de transporte como fueron bicicleta, automóvil, transporte público y caminata, haciendo que los resultados no sean tan específicos como para un solo modo de transporte.

Esta investigación solo tuvo en cuenta los puestos de trabajo de construcción y manufactura, pues no fue posible conseguir información de más sectores de trabajo. También se resalta que no se tomaron en cuenta las rutas de Metrolínea actualizadas durante la pandemia por la COVID-19. La información de ubicación de paraderos y trazados exactos de las rutas es limitada y no se tiene acceso completo a ellas. La metodología podría utilizarse de manera más exacta si se tuviera mayor acceso a la información antes mencionada.

Para continuar con el análisis de accesibilidad se recomienda tener en cuenta el valor subjetivo del tiempo de viaje ya que es un parámetro que puede complementar los resultados obtenidos.

Referencias Bibliográficas

- ACNUR. (2018). *¿Qué es la desigualdad económica y por qué se produce?* Obtenido de https://eacnur.org/blog/desigualdad-economica-que-es-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/
- Banco Mundial. (2015). *Ciudades de Latinoamérica, entre las más competitivas del mundo*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/12/15/latin-american-cities-competitiveness>
- Boisjoly, G., Serra, B., Oliveira, G., & El-Geneidy, A. (2020). Accessibility measurements in São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba and Recife, Brazil. *Journal of Transport Geography*, 82, 102551.
- Carleton, P., & Porter, J. (2018). A comparative analysis of the challenges in measuring transit equity: definitions, interpretations, and limitations. *Journal of Transport Geography*, 72, 64-75.
- Cavadia, P., & Pérez, M. (2020). *Estimación de la accesibilidad por modo de transporte y motivo de viaje para la ciudad de Bucaramanga y su Área Metropolitana, un análisis desde una perspectiva de la estratificación socioeconómica*. Bucaramanga: (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander.
- Falavigna, C., & Hernandez, D. (2016). Assessing inequalities on public transport affordability in two latin American cities: Montevideo (Uruguay) and Córdoba (Argentina). *Transp. Policy* 45, 145–155.
- Galvis, Y., & Silva, L. (2016). *Caracterización socioeconómica de la desigualdad: una aproximación a Bucaramanga*. Bucaramanga: (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander.
- Garrocho, C., & Campos, J. (2006). Un indicador de accesibilidad a unidades de servicios clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(22), 349-397.

- Gutiérrez, J., Berrocal, R., Ruiz, E., Jaraíz, F., & Su, J. (2014). Análisis de la accesibilidad al autobús urbano de Mérida. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 64, 249-272.
- Guzmán, L. A., Oviedo, D., & Rivera, C. (2015). *Estimación de los niveles de accesibilidad para evaluar la equidad en movilidad de acuerdo el motivo de viaje y el modo de transporte*. . Barranquilla: XI Congreso Colombiano de Ingeniería de Transporte.
- Hansen, W. (1959). How accessibility shapes land use. *J. Am. Inst. Plann.* 25 (2), 73–76.
- Hernandez, D. (2017). Uneven mobilities, uneven opportunities: Social distribution of public transport accessibility to jobs and education in Montevideo. *Journal of Transport Geography*, No. 67, 119-125.
- Hurtubia, R., & Cox, T. (2015). *Apunte de Curso Economía y Modelos de Localización Urbana*. . Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería. Proyecto Fondecyt.
- Jaramillo, C., Lizarraga, C., & Grindlay, A. (2012). Spatial disparity in transport social needs and public transport provision in Santiago de Cali (Colombia). *Journal of Transport Geography*, 24, 340-357.
- Levinson, D., & Krizek, K. (2007). *Planning for Place and Plexus: Metropolitan Land Use and Transport*. Routledge. New York, US.
- Manrique, J., Cordera, R., Moreno, E., & Oreña, B. (2020). Equity analysis in access to Public Transport through a Land Use Transport Interaction Model. Application to Bucaramanga Metropolitan Area-Colombia. *Research in Transportation Business & Management* .
- Montero, Y. (2014). *Curva de Lorenz*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/curva-de-lorenz.html>
- Montero, Y. (2014). *Índice de Gini*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/indice-de-gini.html>

Niehaus, M. (2016). *Accesibilidad y equidad: herramientas para ampliar la evaluación social de proyectos de transporte*. Santiago de Chile: (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica de Chile.

Noticias ONU. (2019). *¿Qué es la desigualdad?* Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2019/07/1459341>

Quintero, D. (2013). *Evaluación de las condiciones de accesibilidad en la infraestructura física de las instituciones de educación superior de la ciudad de Bucaramanga y su Área Metropolitana*. Bucaramanga: (Tesis de pregrado). Universidad de Santander.

Revista Dinero. (2019). *Por estas razones crecieron los niveles de pobreza en Colombia*. Obtenido de <https://www.dinero.com/pais/articulo/crecen-los-niveles-de-pobreza-en-colombia/270504>

Rivera, L. (2014). Los parques urbanos como indicadores de calidad de vida, símbolos de bienestar y espacios de uso recreativo: una investigación en Bucaramanga (Colombia). *Universidad & Empresa*, 16(27), 207-229.

Rodriguez, A. (2013). Scopus y su importancia actual en la publicación científica colombiana. *Scientia et Technica Año XVIII*, vol. 18, No. 4.

Sabogal, O., Escobar, D., & Oviedo, R. (2018). *Modern Applied Science*, 12(6). *Making Accessibility Visible: Visualizing Spatial Accessibility Through Multi-Dimensional Scaling Model*, 70-85.

Sánchez, M. (s.f.). *¿Qué es "accesibilidad"?* Obtenido de http://www.webmati.es/index.php?option=com_content&view=article&id=12:que-es-accesibilidad&catid=13&Itemid=160

Significados. (s.f.). *Significado de Desigualdad*. Obtenido de <https://www.significados.com/desigualdad/>

Talavera, R., & Valenzuela, L. (2014). *Guía para el análisis de la accesibilidad espacial del transporte público: enfoque desde los sistemas de metro ligero*. Granada: Proyecto INTEGRAME. Laboratorio de Planificación Ambiental.

- Torres, J. (2006). *Aplicación de los indicadores de accesibilidad ofrecidos por el servicio de transporte público colectivo urbano de la ciudad de San Juan de Pasto*. Manizales: (Tesis de especialización). Universidad Nacional de Colombia .
- Tyler, N., Ramírez, C., Ortigón, A., & Acevedo, J. (2013). *Propuesta de marco de análisis de accesibilidad y equidad asociado a la estrategia nacional de transporte urbano bajo en carbono*. University College London – Universidad de los Andes.
- Ureta, S. (2008). Mobilising poverty?: mobile phone use and everyday spatial mobility among low-income families in Santiago, . *Chile. Inf. Soc.* 24 (2), 83–92.
- Vasconcellos, E. (2018). Urban transport policies in Brazil: the creation of a discriminatory mobility system. *J. Transp. Geogr.* 67, 85–91.
- Wu, H., & Levinson, D. (2020). Unifying access. *Transportation Research Part D*, 83, 102355.
- Younes, C., Escobar, D., & Holguín, J. (2016). Equidad, Accesibilidad y Transporte. Aplicación explicativa mediante un Análisis de Accesibilidad al Sector Universitario de Manizales (Colombia). *Información tecnológica*, 27(3), 107-118.