

# ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA1

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

Pedro Juan Cavadia Ibañez y Marlyn Joana Perez Rengifo

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Yerly Fabian Martínez Estupiñan

PhD (c) en Ingeniería de Transporte y Logística

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físicomecánica

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

**Agradecimientos (Opcional)**

Agradecemos al docente y director, Yerly Fabian Martínez Estupiñan por su gran contribución, enseñanza y colaboración para la culminación de esta investigación. A Ludy Cáceres, por su gran participación en el proceso de aprobación del anteproyecto. Agradecemos a nuestras madres, ambas por brindarnos su apoyo incondicional a lo largo de la carrera e impulsarnos a ser mejores personas y profesionales. A nuestras familias por el apoyo emocional y en ocasiones económico. A todo nuestro más sincero agradecimiento.

**Tabla de contenido**

	<b>Pág.</b>
Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción .....	12
1. Objetivos .....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Marco Teórico y Referencial .....	16
2.1 Marco Teórico.....	16
2.1.1 Transporte .....	16
2.1.2 Accesibilidad.....	17
2.1.2.1 Principales Indicadores para Estimar la Accesibilidad.....	17
2.1.2.1.1 Indicador de Oportunidades Acumulativas.....	18
2.1.2.1.3 Indicador de Utilidad.. .....	18

# ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA4

2.1.2.1.4 Indicador de Interacción Espacial.....	19
2.1.2.1.5 Indicador de Separación Espacial.....	19
2.1.3 Tiempo de Viaje.....	20
2.1.4 Costo Generalizado del Viaje .....	20
2.1.5 Estrato Socioeconómico.....	20
2.1.6 Equidad .....	21
2.2 Revisión Bibliográfica .....	22
3. Zona de Estudio: Bucaramanga y su Área Metropolitana .....	25
3.1 Características de la Población .....	26
3.2. Actividades en la Zona de Influencia (Educación Superior, Construcción y Manufactura) .	27
3.3. Caracterización de Modos de Transporte .....	31
3.3.1. Relación entre Nivel Socioeconómico y Modo de Transporte .....	35
4. Accesibilidad Integral para Bucaramanga y su Área Metropolitana .....	40
4.1 Metodología .....	40
4.1.1 Recopilación de Datos Necesarios para Aplicar la Metodología de Accesibilidad.....	40
4.1.2 Montaje de Shapes y Datos en Qgis .....	42
4.1.3 Cálculos de Tiempo de Viaje, Ruta más Corta e Indicadores de Accesibilidad.....	43
4.2 Resultados .....	46
4.2.1 Análisis de la Accesibilidad Integral por Motivo de Viaje.....	46

## ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA5

4.2.1.1 Sector Construcción.....	47
4.2.1.2. Sector Manufactura.....	47
4.2.1.3 Instituciones de Educación Superior.....	48
4.2.2 Relación de la Accesibilidad por motivo de Viaje y el Nivel Socioeconómico .....	49
4.2.3 Discusión.....	50
5. Conclusiones .....	51
6. Recomendaciones .....	54
Referencias Bibliográficas .....	55

**Lista de tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Variables que afectan el análisis de la equidad.....	21
Tabla 2. Los diez países con más estudios realizados desde el 2011 .....	23
Tabla 3. Publicaciones realizadas por año, desde el 2011 .....	23
Tabla 4. Nombres y fuentes de los archivos de georreferenciación tipo Shape utilizados en el software Qgis versión 3.14 .....	41

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Bucaramanga y su área metropolitana.....	26
Figura 2. Nivel socioeconómico de los habitantes del área metropolitana.....	27
Figura 3. Nivel socioeconómico de los estudiantes de educación superior del área metropolitana en el año 2018. ....	29
Figura 4. Nivel socioeconómico de los trabajadores de la industria de la construcción en el año 2018.....	30
Figura 5. Nivel socioeconómico de los trabajadores de la industria de la manufactura del año 2018 .....	30
Figura 6. Modos de transporte utilizado por los estudiantes de educación superior en el año 2018 .....	32
Figura 7. Modos de transportes utilizado por los trabajadores de la industria de la construcción en el año 2018.....	33
Figura 8. Modos de transportes utilizados por los trabajadores de la industria de la manufactura en el 2018.....	33
Figura 9. Modos de transporte usados por los trabajadores de la industria de la construcción y la manufactura en el año 2020 .....	34
Figura 10. Relación entre los modos de transporte con el nivel socioeconómico para los estudiantes de educación superior en el año 2018 .....	36

## ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA8

Figura 11. Relación entre los modos de transportes con el nivel socioeconómico para los trabajadores de la construcción en el año 2018 .....	37
Figura 12. Relación entre los modos de transporte con el nivel socioeconómico para los trabajadores de la industria manufacturera en el año 2018.....	38
Figura 13. Grilla utilizada para el analisis de accesibilidad.....	42

**Lista de apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Tabla de referencias consultadas para la realización de la conceptualización .....	61
Apéndice B. Visualización plugin usado en Qgis para calcular accesibilidad .....	70
Apéndice C. Ubicación de la importancia de los establecimientos de construcción, manufactura e instituciones de educación superior .....	71
Apéndice D. Accesibilidad integral motivo de viaje construcción.....	72
Apéndice E. Accesibilidad integral motivo de viaje manufactura.....	73
Apéndice F. Relación nivel socioeconómico y modo de transporte .....	75

## Resumen

**Título:** 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<sup>1\*</sup>

**Autor:** Pedro Juan Cavadia Ibañez, Marlyn Joana Pérez Rengifo<sup>2\*\*</sup>

**Palabras Clave:** Accesibilidad integral, modos de transporte, inequidad, estrato socioeconómico

**Descripción:** En Colombia, existe una inequitativa distribución del acceso a las oportunidades en diferentes ámbitos. Este estudio, analizó el grado de accesibilidad de los ciudadanos del área metropolitana de Bucaramanga hacia sus actividades en los sectores de la construcción, manufactura y viajes hacia instituciones de educación superior. El análisis se realizó para los modos de transporte público representado por el SITM Metrolínea y buses convencionales, caminata y vehículo particular. Además, se incluyó como variable adicional en el análisis el estrato socioeconómico de la zona donde se origina 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 muestran 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. Los habitantes de estratos 2 y 3 son quienes tienen mayor accesibilidad por caminata, vehículo particular y transporte público en general, debido a que estas zonas se encuentran más cerca de los destinos analizados. Finalmente los estratos 5 y 6 presentan un mayor grado de accesibilidad en el modo de caminata y vehículo particular con destino es establecimiento de construcción.

---

<sup>1\*</sup> Trabajo de Grado

<sup>2\*\*</sup> Facultad de Ingenierías Fisicomecánica. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Yerly Fabian Martínez Estupiñán. Doctor en Ciencias de la Ingeniería.

## Abstract

**Title:** Estimation of accessibility by mode of transport and reason for travel for the city of Bucaramanga and its metropolitan area, an analysis from a perspective of socio-economic stratification<sup>3\*</sup>

**Author:** Pedro Juan Cavadia Ibañez, Marlyn Joana Pérez Rengifo<sup>4</sup>

**Key Words:** Comprehensive accessibility, transport modes, inequity, social strata.

**Description:** There is, in Colombia, inequitable distribution of access to opportunities in different areas. This research analyzed the accessibility of metropolitan area from Bucaramanga citizens to different activities such as construction, manufacturing, and trips to universities. The analysis is made for public transport (SITM Metrolínea and buses), walk and car. It was also included as an additional variable in the social strata of the zone where the trip originated. The calculation of comprehensive accessibility to the different destination points that were using the spatial separation indicator using the reciprocal and negative exponential functions was performed, the latter was discarded when performing the analysis of the results and not finding that it did not fit the travel conditions of the population in the metropolitan area of Bucaramanga. The main results that people belonged to social strata 1 are those who are accessed to their geographical location which is mostly located north of the metropolitan area. The inhabitants belonging to social strata 2 and 3 who are greater accessibility by walking, particular vehicle and transport in the general public because these areas are closer to the destinations. Finally, social strata 5 and 6 show a higher degree of accessibility in the walking mode and private vehicle to target is construction establishment

---

<sup>3\*</sup>undergraduate work

<sup>4\*\*</sup> Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Yerly Fabian Martínez Estupiñan. Doctor of Engineering Sciences.

## **Introducción**

La inequidad existente en Colombia se refleja en la mala distribución de los recursos (especialmente los económicos) entre los habitantes del país. Asimismo en el acceso a oportunidades laborales, de salud y educacionales la desigualdad es evidente, provocando que algunos ciudadanos reciban o tengan más acceso a ciertos servicios que otros dada su condición socioeconómica.

Por otro lado, a diario miles de ciudadanos deben asistir a sus lugares de trabajo y estudio por lo que el sistema de movilidad de la ciudad debe ser eficiente, eficaz y seguro para cumplir con la demanda exigida. Existen diferentes modos de transporte que las personas pueden escoger para llegar a sus destinos, esto conlleva en muchas ocasiones a la saturación de la red vial y los sistemas de transporte. Otra evidencia de desigualdad se refleja en las escasas o precarias posibilidades de transporte a la que pueden acceder los ciudadanos teniendo en cuenta que los habitantes usan el servicio de transporte que pueden costear y que muchas veces no es el que les ofrece los mejores tiempos o condiciones de seguridad y confort para llegar a sus destinos.

Por todo lo anterior, esta investigación cuantificó la accesibilidad por modo de transporte y motivo de viaje a los sitios de trabajo para la industria de construcción y manufactura; así como los viajes de estudio hacia instituciones de educación superior, de los habitantes de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana (AMB). Además el análisis se hizo desde una perspectiva de la estratificación socioeconómica. El análisis de accesibilidad incluyó los siguientes modos:

Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea y buses convencionales caminata y automóvil particular.

En el análisis inicial se usó para la caracterización de la población en estudio información proveniente de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV-2018). Se trabajó con dicha información debido a que el área metropolitana de Bucaramanga no cuenta con una encuesta de movilidad completa y actualizada que permita conocer información de partición modal y propósitos de viaje de la ciudadanía. Además, se usó el modelo de separación espacial para el análisis de accesibilidad. Este método utilizó los tiempos de viajes para representar la impedancia, que es un parámetro de fricción que permite representar un coeficiente de resistencia u oposición en la realización del viaje. La utilización del tiempo en la metodología hace que la interpretación de los resultados sea más sencilla, también es aconsejable su uso en la construcción de indicadores de equidad. Al utilizar este método fue posible la comparación de forma directa del nivel de accesibilidad de los destinos de interés anteriormente mencionados (Niehaus, Galilea & Hurtubia, 2015) y a su vez permitió hacer el análisis de cómo la accesibilidad varía según el estrato socioeconómico de la ciudadanía.

El resto del libro se encuentra organizado de la siguiente manera: la sección 1 se muestran los objetivos de la investigación, en la sección 2 se presenta el marco teórico y la revisión de la literatura la cual está enfocada en la relación existente entre los modos de viaje, los usuarios y su nivel socioeconómico. También se consultó la literatura correspondiente a los diferentes métodos existentes para el cálculo de la accesibilidad. En la sección 3, se muestra la caracterización de la zona de estudio, los modos de transporte y los motivos de viaje analizados. En la sección 4, se

## ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA<sup>14</sup>

presenta la metodología utilizada para el cálculo de accesibilidad integral, del tiempo de viaje, la importancia, el montaje en el software Qgis, los resultados de la investigación, la relación del modo y la accesibilidad integral calculada. La sección 5, presenta los resultados de la investigación y por último, la sección 6 muestra las conclusiones y sugerencias para futuras investigaciones.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Estimar la accesibilidad por modo de transporte a los sitios de trabajo y estudios de los habitantes de Bucaramanga y su área metropolitana desde una perspectiva de inequidad.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la revisión bibliográfica sobre los métodos de cálculo de accesibilidad por modo de transporte y motivo de viaje desde una perspectiva de inequidad socioeconómica.
- Seleccionar la metodología basada en equidad para la medición de accesibilidad en Bucaramanga y su área metropolitana, teniendo en cuenta la información disponible en la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV-2018) realizada por el DANE.
- Determinar cuantitativa y espacialmente los resultados de accesibilidad para Bucaramanga y su área metropolitana, en función del modo de transporte y propósito de viaje.

## **2. Marco Teórico y Referencial**

### **2.1 Marco Teórico**

#### **2.1.1 Transporte**

Es el traslado de personas desde un lugar de origen hacia un destino a través de un medio físico utilizando cualquier modo de transporte (Ley 769, 2002). El transporte permite estructurar la implementación de una infraestructura o un modo de transporte, esto debido a que se encuentra distribuido espacialmente en un lugar geográfico en donde se ubican a menudo la población y el desarrollo de actividades económicas (Quintero Gonzáles, 2019). Además, los modelos de transportes permiten realizar una mejor planificación territorial, en palabras de Carrillo (2012):

El Análisis del territorio es indispensable para la comprensión de la estructura socio-espacial del país y cómo éste se transforma al verse influenciado por procesos como el transporte (p. 10).

De igual forma, en ciudades grandes existen factores que apoyan la necesidad del desarrollo de los sistemas de transportes: el retraso en los sistemas de transporte puede generar menor oferta de inversión, los sistemas obsoletos generar mayor incomodidad en la movilidad y accidentes, el desarrollo de los sistemas de transporte pueden quedar atrás en comparación con otros países, poder colocar a funcionar varias instalaciones de un modo de transporte ubicadas en diferentes extremos de la ciudad (Quintero Gonzáles, 2019), entre otros.

### **2.1.2 Accesibilidad**

Es una medida de acceso al sistema de los servicios públicos potencialmente disponible que permite el fácil disfrute de dichos servicios por parte de toda la población (NTC 6304, 2018). El concepto de accesibilidad fue introducido por Hansen (1959) (Guzmán, Oviedo & Rivera, 2015) el cual interpreta la accesibilidad como “el potencial de las oportunidades de interacción”, este concepto permite evaluar la conectividad entre diferentes áreas geográficas y comunidades mediante los diversos modos de transportes existentes en la zona de estudio determinada (Sabogal, Escobar & Oviedo, 2018). Cabe resaltar que una persona puede tener limitaciones de movilidad debido a las grandes distancias pero a su vez tener muy buena accesibilidad debido a su ubicación geográfica, ya que se puede encontrar cerca de los lugares que son sus sitios atractores de viaje, y así de forma inversa. Además, una persona puede registrar muchos movimientos, eso puede ocurrir principalmente cuando se recorren distancias largas lo cual hace que su accesibilidad sea baja (Hernández, 2017). Si se analizan múltiples destinos posibles, desde un mismo origen, se deriva una medida de contorno llamada accesibilidad integral, que es la suma de todos los valores de accesibilidad parcial (Karst & Bert, 2004).

**2.1.2.1 Principales indicadores para estimar la accesibilidad.** La accesibilidad, se mide a través de indicadores, que, según el objetivo y los parámetros a utilizar, se seleccionan aquellos que sean más consistentes y precisos con el objeto de investigación. Handy y Neimeier (1997) recomiendan que la situación y el propósito del análisis a realizar, definen el indicador adecuado a seleccionar. Existe una variedad de indicadores, Garrocho y Campos (2006) los clasifican en:

Indicadores de separación espacial, de interacción espacial, de oportunidades acumulativas, de utilidad y de espacio temporal.

**2.1.2.1.1 Indicador de oportunidades acumulativas.** Esta metodología permite definir el tiempo o la distancia para cada uno de los orígenes, para esto utiliza los diferentes destinos potenciales. Se requiere conocer la ubicación de todos los destinos que se encuentren dentro de la zona de estudio determinada. Esta metodología no tiene en cuenta las características de los usuarios y el comportamiento espacial del mismo (Campos & Garrocho, 2006).

**2.1.2.1.2 Indicador espacio temporal.** Esta metodología tiene en cuenta las restricciones de los individuos que son objeto de análisis para el cálculo de la accesibilidad. Además, se tiene en cuenta que los individuos analizados realizan ciertas actividades en un periodo límite de tiempo por lo que existen tres restricciones: restricción de capacidad, la cual está relacionada con el desempeño humano; restricción de sincronía, sucede cuando un individuo debe estar en un lugar en un momento determinado; por último la restricción de autoridad que envuelve todo lo relacionado a la normativa de movilidad, conducta y de movimiento de las actividades. Este tipo de método posee gran dificultad debido a que se requiere una cantidad de datos individualizada para cada individuo que haga parte del estudio (Campos & Garrocho, 2006).

**2.1.2.1.3 Indicador de utilidad.** Esta metodología está basada en la utilidad individual existente de cada destino para cada usuario. Presenta el inconveniente de asumir que todos los destinos están disponibles para todos los usuarios, por lo que no presenta o asume algún tipo de

restricción en la elección del destino, además los resultados están sujetos al comportamiento observado de los usuarios (Campos & Garrocho, 2006).

**2.1.2.1.4 Indicador de interacción espacial.** Este método tiene en cuenta la oferta como un factor de atracción y los costos del transporte que se encuentran sujetos a la variación del modo de transporte analizado. Requiere determinar la fricción de la distancia la cual se encuentra derivada del comportamiento espacial de los usuarios, esta cambia con respecto a la función utilizada que representa la fricción de la distancia. Este método considera a todos los individuos ubicados en la misma región como iguales, es decir, con iguales condiciones (Campos & Garrocho, 2006).

**2.1.2.1.5 Indicador de separación espacial.** Esta metodología utiliza la separación existente entre el origen y el destino, también tiene en cuenta un parámetro que representa la fricción de la distancia. Este método sólo considera la localización relativa de la oferta y la demanda (Campos & Garrocho, 2006).

Entre algunos indicadores de medición se tiene el índice de acceso al uso del suelo y al transporte público (LUPTAI), el cual mide la accesibilidad de un punto de interés con respecto al número de destinos a los que se puede acceder dentro de un tiempo y costo máximo de viaje establecido, con un enfoque basado en el destino; también, los niveles de accesibilidad del transporte público (PTAL) que miden desde un punto de interés en términos de disponibilidad del servicio en el punto de acceso más cercano dentro de una tiempo máximo determinado, independientemente cual sea el destino (Adhvaryu, Chopde, & Dashora, 2019).

### ***2.1.3 Tiempo de viaje***

Es una medida subjetiva por la cual las personas establecen la efectividad de la vía o del sistema de transporte que utilizan, es el tiempo que les toma realizar su viaje y se relaciona con atributos cualitativos como el confort, seguridad y prestigio del modo de transporte (Cote & Porras, 2016).

### ***2.1.4 Costo generalizado del viaje***

Es el costo monetario para el transporte público, y se calcula mediante la ponderación de factores como el tiempo de caminata, el tiempo de espera, tiempos de transferencia, el tiempo en vehículo y el costo de la tarifa. Es utilizado en la mayoría de los métodos de asignación de demanda de viaje debido a que incluye componentes que determinan la satisfacción del usuario, como el tiempo de viaje y tarifas (Cote & Porras, 2016).

### ***2.1.5 Estrato socioeconómico***

Es la clasificación de los inmuebles residenciales de un municipio, que se hace en atención al Régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia (Ley 142, 1994). Es realizada con la finalidad de asignar subsidios y cobrar contribuciones en un área. Así, quienes tienen una mayor capacidad económica contribuyen más por los servicios públicos para que los estratos bajos puedan pagar sus facturas (DANE). El director del DANE, Juan Daniel Oviedo, en 2018 indicó que, en materia de estratificación de la población, la mayoría de los colombianos están concentrados en los estratos 1,2 y 3, es decir un 80%, mientras que en los estratos 4,5 y 6 estaría el 20% de la población.

### 2.1.6 Equidad

La equidad se refiere a la igualdad con la que se distribuyen los impactos (beneficios y costos). Las decisiones de planificación de transporte a menudo tienen impactos significativos en la equidad. El análisis de la equidad del transporte puede ser difícil porque hay varios tipos de equidad, muchos impactos potenciales a considerar, varias maneras de medir los impactos, y pueden ser posibles maneras de categorizar a las personas (Litman, 2020). El análisis de equidad en el transporte se ve afectado por variables como los impactos considerados y la medición de estos, ya que pueden alterar los resultados según como se haga. Una forma de análisis de equidad puede ser mediante la evaluación de los impactos, según el tipo de equidad, como se ve en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Variables que afectan el analisis de la equidad*

<b>Tipos de equidad</b>	<b>Impactos</b>	<b>Medición</b>	<b>Categorización</b>
<b>Horizontal</b> Igualdad de trato de iguales	<b>Instalaciones y servicios públicos</b> Planificación y diseño de instalaciones		<b>Demografía</b> Etapa de edad y ciclo de vida Tipo de hogar Raza y grupo étnico
<b>Vertical con respecto a los ingresos y a las redes sociales</b> <b>Clase</b> Asequibilidad del transporte Asequibilidad de la vivienda impactos en comunidades de bajos ingresos Estructuras y descuentos de tarifas Empleo en la industria Calidad del servicio en comunidades de bajos ingresos	Financiación y subvenciones publicas Asignación de espacio vial Participación publica  <b>Costos y beneficios del usuario</b> Movilidad y accesibilidad Impuestos, tasas y tarifas  <b>Calidad del servicio</b> Calidad de varios modos Congestión Diseño universal  <b>Impactos externos</b>	<b>Per cápita</b> Por adulto Por viaje de cercanías o periodos pico Por hogar  <b>Unidad de viaje</b> Por vehículo-milla/km Por pasajero-milla/km Por viaje Por viaje de viaje diario o de periodo pico  <b>Por dólar</b> Tarifas de usuarios por dólar	<b>Clase de ingresos</b> Quintiles Línea de pobreza Zonas de bajos ingresos  <b>Capacidad</b> Personas con discapacidad Conductores con licencia  <b>Ubicación</b> Jurisdicción Vecindario y calle Urbano/suburbano/rural

<b>Vertical con respeto para necesitar y capacidad</b> Diseño universal Servicios especiales móviles Servicios de estacionamiento para no conductores	Congestión Riesgo de choque Contaminación Efecto barrera Materiales y residuos peligrosos Impactos estéticos Comunidad comunitaria	Por dólar de subsidio Recuperación de costos	<b>Usuarios del modo</b> Caminantes Ciclistas Motociclistas Automovilistas Usuarios de transporte publico
	<b>Impactos económicos</b> Oportunidades económicas Empleo y negocio Actividad		<b>Industria</b> Carga Transporte publico Industrias automotrices y de combustible
	<b>Regulación</b> y regulación del tráfico de aplicación Reglamentos y cumplimiento Regulación de riesgos especiales		<b>Tipo de viaje</b> Emergencia Viaje Comercial/carga Recreativo/turístico

Nota. Información tomada de Litman, 2020, al español

## 2.2 Revisión Bibliográfica

La revisión bibliográfica se centra en presentar una síntesis de la investigación documental de la literatura relacionada (Peña, 2010). Este proceso permitió tener una visión definida y clara al momento de hacer el estudio de accesibilidad utilizando la metodología más conveniente según los datos disponibles.

En la búsqueda bibliográfica se revisaron diferentes investigaciones dispuestas en motores de búsqueda de bases de datos como Scopus, Science Direct, SciELO, base de datos de la Biblioteca UIS, entre otros. Para la revisión se determinaron las palabras clave como: Accesibilidad, transporte, indicadores de accesibilidad. Para la obtención de resultados bibliográficos se configuraron combinaciones para la búsqueda en las bases de datos e información proporcionada por la universidad. Se encontraron alrededor de más de 500 estudios relacionados

con temas de accesibilidad al transporte y su evaluación mediante indicadores. Además se tuvo en cuenta en la búsqueda criterios de equidad asociados al transporte, en diferentes ciudades del mundo, ya que es un tema de amplia investigación y que es fundamental para la planificación de la movilidad y para la disminución de brechas sociales de cualquier ciudad.

**Tabla 2.**

*Los diez países con más estudios realizados desde el 2011*

<b>Países/Regiones</b>	<b>Número de registros</b>
Estados unidos	958
China	614
Inglaterra	442
Australia	362
Países bajos	275
España	273
Alemania	270
Canadá	231
Italia	175
Francia	171

Nota. Elaboración propia a partir de registros hallados en base de datos Web of Science

En la Tabla 2 se puede apreciar los 10 países que más han realizado investigación en el tema de accesibilidad al transporte, desde diferentes enfoques. Encabezando la lista se encuentra Estados Unidos con la mayor cantidad de publicaciones desde el 2011 en la base de datos de Web of Science. Cabe resaltar a Brasil como el país Latinoamericano con mayor investigación en esta área con un registro de 84 publicaciones; Colombia se encuentra en el puesto número 33 con 31 publicaciones.

**Tabla 3.**

*Publicaciones realizadas por año, desde el 2011*

<b>Años de publicación</b>	<b>Números de registros</b>
2020	316

## ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA<sup>24</sup>

2019	636
2018	528
2017	387
2016	400
2015	340
2014	229
2013	195
2012	195
2011	157

Nota. Elaboración propia en base a datos de Web of Science

En la Tabla 3 se clasifican las publicaciones realizadas para cada año desde el 2011 relacionadas con el tema de accesibilidad al transporte, según la información consignada en la base de datos de Web of Science. En el año 2019 fue publicado el mayor número de investigaciones en este tema. En total se preseleccionaron alrededor de 90 artículos que cumplían con el criterio de abordar estudios relacionados con la aplicación de metodologías de accesibilidad. Posteriormente, se realizó una revisión exhaustiva de dichos documentos, y se descartaron alrededor de la mitad, y luego se decidió conservar 15 artículos que fueron los más relevantes (ver **Apéndice A**) para el análisis en esta investigación.

### **3. Zona de estudio: Bucaramanga y su área metropolitana**

La zona de análisis está compuesta por delimitaciones: temporal (año 2018), espacial (Bucaramanga y su área metropolitana), del universo (sector de educación superior, sector construcción y manufactura) y de contenido (nivel socioeconómico y modo de transporte usado) los cuales serán analizados a continuación.

El análisis de accesibilidad realizado en esta investigación se centra en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, la cual se encuentra compuesta por los municipios de: Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. En la ordenanza No. 020 del 15 de diciembre de 1981, se dispuso el funcionamiento del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB, 2020). La unión de los municipios ocurrió debido a la saturación del sector urbanizable en Bucaramanga lo que provocó que los habitantes se desplazaran hacia los municipios aledaños o cercanos (Floridablanca, Girón y Piedecuesta) para satisfacer sus necesidades de vivienda, esto generó el crecimiento desordenado (exclusivamente residencial) y la alta demanda de servicios públicos, comerciales y sociales en los municipios que ahora forman parte de su área metropolitana (La Asamblea Departamental de Santander, 2020).

**Figura 1.**

*Bucaramanga y su área metropolitana.*



Nota. Tomado del Departamento Nacional de Planeación, 2018.

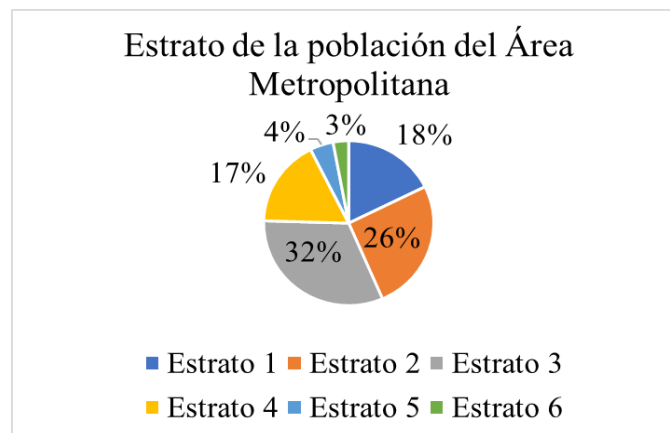
**3.1 Características de la población**

Para este estudio se utilizó información del Censo Nacional de Población del año 2018, siendo este el año base del análisis de esta investigación. Bucaramanga y su área metropolitana contaban con una población total de 1.111.999 habitantes, de las cuales 528.855 habitantes pertenecen a Bucaramanga, 267.170 habitantes son de Floridablanca, 116.914 habitantes para Piedecuesta y 199.060 eran de Girón (Ruiz, 2019). Según la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV-2018) realizada por el Departamento Nacional de Estadística (DANE) y el Censo Nacional en el año 2018, el 52% de la población del área metropolitana de Bucaramanga pertenecen al género femenino y el 48% restante al género masculino; adicionalmente el 42% de la población se encuentra en el rango entre 25 años 55 años, el 17% pertenece al rango de 0 a menores de 12 años,

el 20% para el rango de 12 años y menores de 25 años y el 21% restante es para los mayores de 55 años. Durante el desarrollo de este proyecto fue muy importante identificar la condición socioeconómica de la población de la zona de estudio (ver Figura 1). Esta condición se puede identificar mediante estratos los cuales van del 1 al 6, siendo 1 el nivel más bajo y 6 el nivel más alto.

**Figura 2.**

*Nivel socioeconómico de los habitantes del área metropolitana.*



Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

La Figura 2 muestra que el 32% de la población del área metropolitana se encuentran en condición socioeconómica medio-bajo (estrato 3), el 26% son de nivel bajo (estrato 2) y el 18% son de nivel bajo-bajo (estrato 1). Esto indica que más del 60% de la población se encuentra en una situación económica baja y desfavorable respecto a los ciudadanos que pertenecen a los estratos más altos: 4, 5 y 6.

**3.2. Actividades en la zona de influencia (educación superior, construcción y manufactura)**

## ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA<sup>28</sup>

En base a los resultados arrojados por la Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH) realizada por el DANE en el año 2018, se identificó que las ramas de actividad económica con mayor concentración para las cabeceras municipales fueron: comercio, hoteles y restaurante (30%); servicios comunales, sociales y personales (22%); seguidos por la industria de manufactura (14%) y construcción (8%). En esta encuesta además se identificó que la posición ocupacional con la mayor participación fue: Obrero, empleado particular (45%), además esta ocupación presenta el mayor incremento con un 4% (DANE, 2018).

En este estudio se seleccionó como objeto de análisis de accesibilidad los viajes hacia la industria de la construcción, manufactura y las entidades educativas de nivel superior. Esto, debido a que la industria de la construcción fue la actividad económica de mayor crecimiento a nivel nacional para el año 2018 según datos de la GEIH. Por otro lado, aunque la industria manufacturera se encuentra en el tercer lugar de la encuesta mencionada, a nivel regional esta industria ha sido de gran importancia para Bucaramanga y su área metropolitana durante muchos años siendo de las primeras actividades que permitieron el desarrollo de la zona.

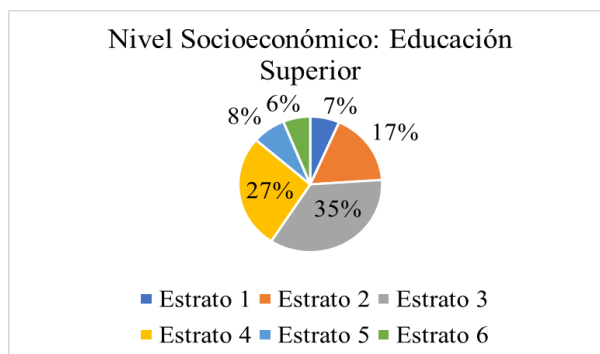
Según datos de la Alcaldía de Bucaramanga (obtenidos a partir de la información recopilada a través del aplicativo web de la Cámara de Comercio de Bucaramanga creado para el proceso de reactivación económica gradual durante la emergencia sanitaria que se vive en estos meses) , en el año 2020 en Bucaramanga y su área metropolitana existen alrededor de 1.334 empresas registradas pertenecientes a la industria de la construcción, de las cuales 848 (64%) pertenecen a Bucaramanga, 239 (18%) para Floridablanca, 135 (10%) son de Girón y 112 (8%) pertenecen a Piedecuesta [15]. Además, hay registradas alrededor de 2.279 empresas de

manufactura, las cuales 1.725 (76%) hacen parte de Bucaramanga, 249 (11%) son de Floridablanca, 200 (9%) son de Girón y 105 (4%) pertenecen a Piedecuesta (Alcaldía de Bucaramanga, 2020).

Por último, se seleccionaron las entidades de educación superior ya que estas son grandes zonas atracciones de viaje no solo de Bucaramanga sino también de los otros municipios del área metropolitana. Dado que en esta investigación el componente de accesibilidad se analizó desde una perspectiva socioeconómica también se hizo la caracterización por estrato socioeconómico para los grupos poblacionales anteriormente mencionados (ver Figura 3, 4 y 5).

**Figura 3.**

*Nivel socioeconómico de los estudiantes de educación superior del área metropolitana en el año 2018.*

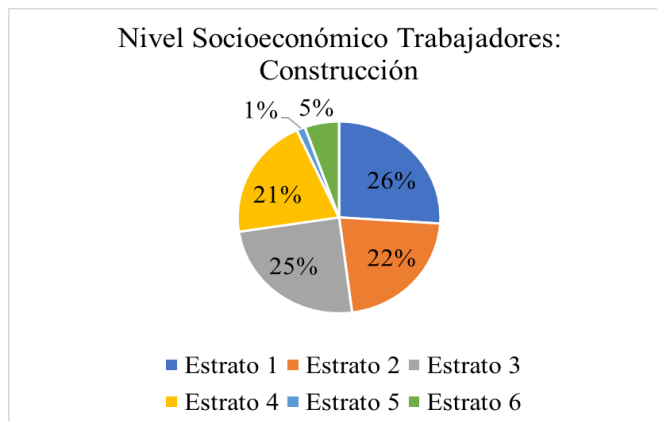


Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

De la Figura 3 se observa que el 59% de la población de estudiantes universitarios pertenecen a los estratos 1, 2 y 3, el 41% restante a los estratos 4, 5 y 6.

**Figura 4.**

*Nivel socioeconómico de los trabajadores de la industria de la construcción en el año 2018*

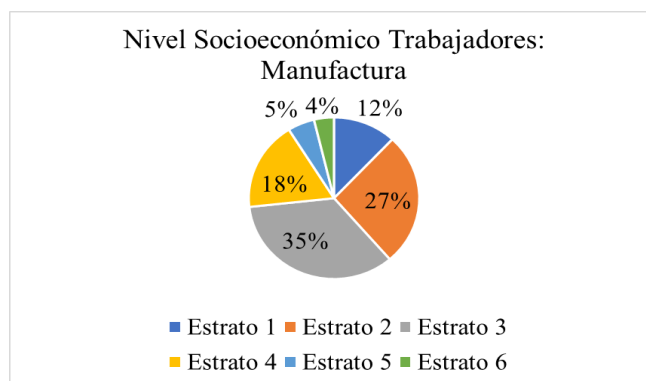


Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

En la Figura 4, muestra que el 73% de los trabajadores de la industria de la construcción pertenecen a los estratos 1, 2 y 3, el 27% restante pertenecen a los estratos 4, 5 y 6. De lo anterior se puede deducir que la mayoría de la población de este sector pertenece a los niveles bajos.

**Figura 5.**

*Nivel socioeconómico de los trabajadores de la industria de la manufactura del año 2018*



Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

En la Figura 5 se puede deducir que el 74% de los trabajadores de la industria de la manufactura pertenecen a los estratos 1, 2 y 3; el 27% pertenece a los estratos 4, 5 y 6. Esto indica que gran parte de este sector se encuentra ubicado en los sectores de bajos ingresos siendo pocos los que cuentan con una situación económica favorable.

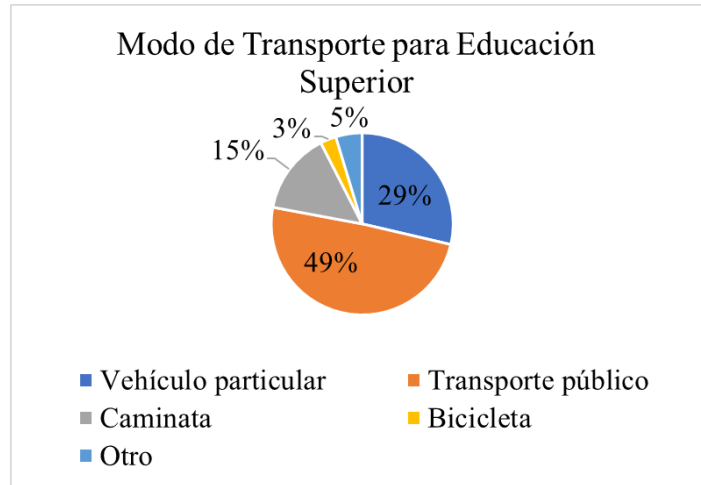
### **3.3. Caracterización de modos de transporte**

En Bucaramanga y su área metropolitana existen diversos modos de transporte entre los cuales se encuentran: taxi, bus urbano, bus intermunicipal, SITM Metrolínea, vehículo particular, entre otros.

Con base a la ECV-2018 realizada por el DANE, se realizó el respectivo análisis de la población en relación con su motivo de viaje, estrato y modo de transporte. Cabe aclarar que en dicha encuesta no se hace una separación detallada de los modos de transporte, por lo cual en el modo de transporte público se encuentran incluidos: SITM Metrolínea, sistema de buses urbanos convencionales e intermunicipales. En el caso de vehículo particular incluye: autos, motos y transporte informal de autos y motos (coloquialmente llamados carro pirata y mototaxi respectivamente). En las Figuras 6, 7 y 8 se pueden observar los modos de transporte utilizados en el año 2018 por los estudiantes de educación superior, trabajadores de la industria de la construcción y manufactura respectivamente.

**Figura 6.**

*Modos de transporte utilizado por los estudiantes de educación superior en el año 2018*

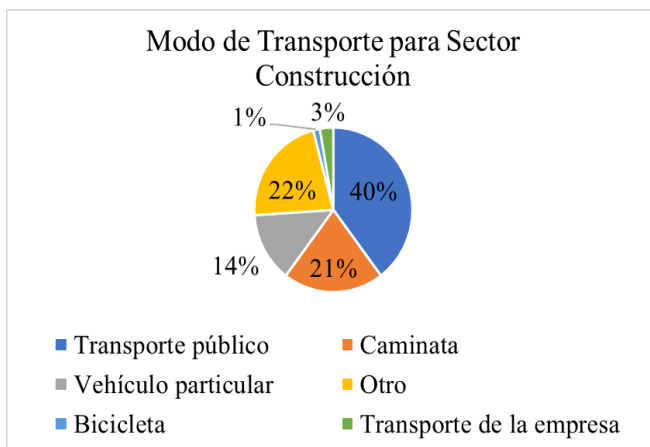


Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

La Figura 6 muestra que los modos de transportes más usados por los estudiantes de educación superior son: el transporte público (49%) y el vehículo particular (29%), seguidos por la caminata (15%), otro (5%) y la bicicleta (3%). De la Figura 7 se puede deducir que los modos de transporte más usados por los trabajadores de la construcción son: el transporte público (40%), caminata (21%), otro (22%), seguido por el vehículo particular (14%), el transporte de la empresa (3%) y la bicicleta (1%).

**Figura 7.**

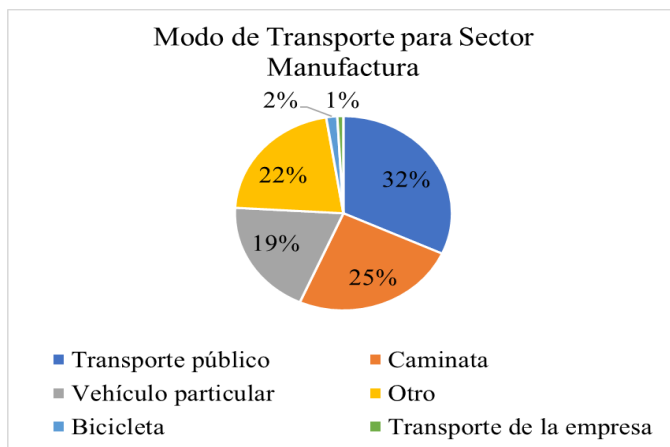
*Modos de transportes utilizado por los trabajadores de la industria de la construcción en el año 2018*



Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

**Figura 8.**

*Modos de transportes utilizados por los trabajadores de la industria de la manufactura en el 2018*

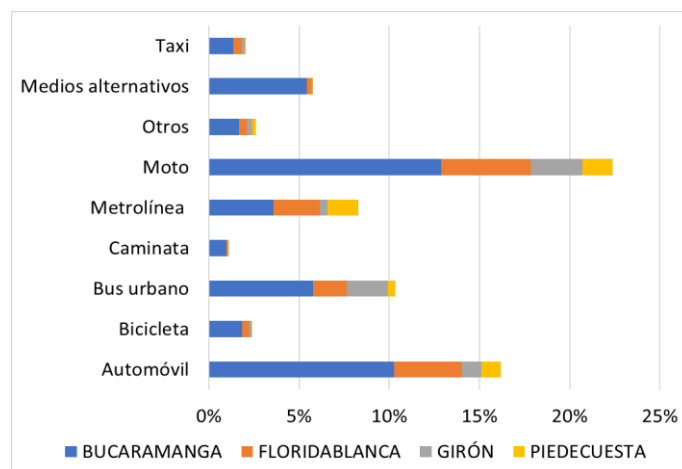


Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

De la Figura 8, se deduce que los modos de transporte más utilizados por los trabajadores de la industria de la manufactura son: el transporte público (32%), la caminata (25%) y otro (22%), seguido del vehículo particular (19%), la bicicleta (2%) y por último el transporte de la empresa (1%). Según el informe de movilidad emitido por la Alcaldía de Bucaramanga para el año 2020 en el marco de la emergencia sanitaria que se vive por la pandemia de la COVID-19 y las medidas preventivas determinadas por el gobierno nacional (Alcaldía de Bucaramanga, 2020), los modos de transporte más utilizados por los trabajadores de la industria de la construcción y manufactura son el automóvil y la moto, siendo estos vehículos de uso particular. En la Figura 9 se muestran los porcentajes de uso para diferentes modos de transportes teniendo en cuenta como destino el municipio de Bucaramanga.

**Figura 9.**

*Modos de transporte usados por los trabajadores de la industria de la construcción y la manufactura en el año 2020*



Nota. Elaboración propia en base a los datos del informe “Reactivación económica

Bucaramanga”, realizado por la alcaldía de Bucaramanga, 2020

Para el desarrollo de este estudio se analizaron los modos de transporte: vehículo particular, caminata y transporte público, este último está conformado por el sistema de buses convencionales y el SITM Metrolínea.

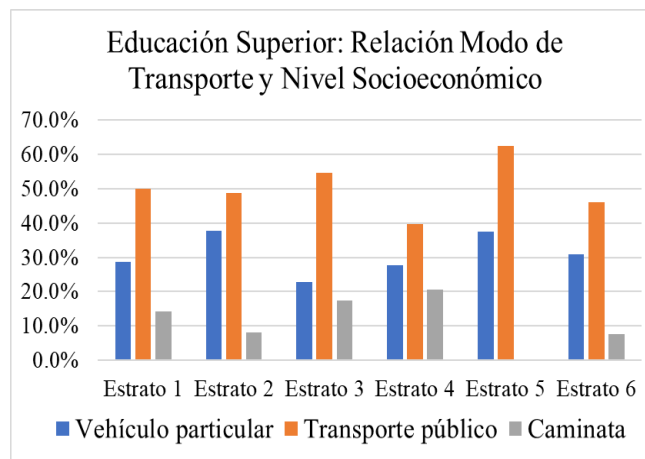
### ***3.3.1. Relación entre nivel socioeconómico y modo de transporte***

Existe una relación directa entre el modo de transporte usado por una persona y su nivel socioeconómico. Las personas suelen escoger y utilizar el modo de transporte que satisfaga sus necesidades y que esté a su alcance según su condición económica. Entre los atributos que más influyen al momento de seleccionar el modo de transporte se encuentran: la ruta seguida por el modo de transporte (distancia entre el origen y el destino), la facilidad para adquirir sus servicios (qué tan cerca se encuentra del origen), la comodidad, además del costo que representa para el usuario.

El nivel socioeconómico y los ingresos de cada individuo juegan un papel muy importante al momento de determinar el modo de transporte que más beneficios (o utilidad) le brinda (Ortúzar, 2012). Principalmente porque el costo económico de viajar se convierte en un gasto fijo que los usuarios deben considerar de forma permanente en su economía. En las Gráficas 10, 11 y 12, se presenta la relación existente entre cada modo de transporte y el nivel socioeconómico para cada uno de los propósitos de viaje que fueron analizados en este estudio.

**Figura 10.**

*Relación entre los modos de transporte con el nivel socioeconómico para los estudiantes de educación superior en el año 2018*



Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

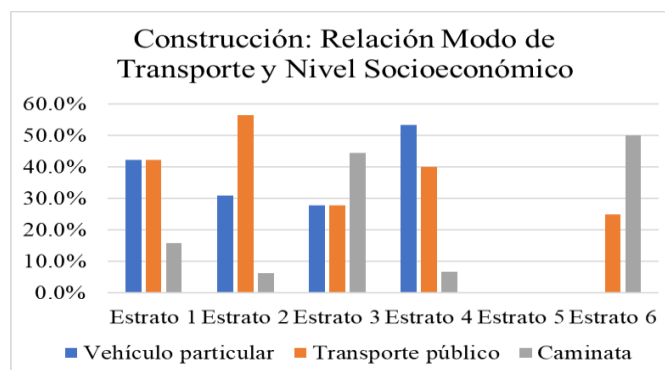
En la Gráfica 10, se observa que los estudiantes pertenecientes a los seis estratos optan por utilizar el transporte público, seguido del vehículo particular y la caminata. Esto se debe a que la mayoría de los estudiantes son dependientes económicamente de otra persona (papá, mamá, abuela, abuelo u otro) por lo que deben optar por opciones de transporte más económicos ya que no todos cuentan con vehículo particular propio. Además las rutas del transporte público circulan muy cerca de las instituciones de educación superior.

Cabe resaltar que los estudiantes de estrato 5 son los mayores usuarios del transporte público, los de estrato 2 usan más el vehículo particular y los de estrato 4 la caminata. Hay que tener en cuenta en este resultado que de la información que provee la encuesta ECV-2018 no es

posible desagregar o diferenciar el modo de transporte vehículo particular en moto o automóvil (ni si es transporte informal), de ahí que el porcentaje de uso del vehículo particular en estratos bajos sea más alto ya que muchos estudiantes poseen moto para su desplazamiento o usan transporte informal (ej. mototaxi o automóviles colectivos) Para el caso de que los estratos altos presenta un mayor porcentaje de uso del transporte público puede explicarse en parte a que algunas instituciones de educación superior especialmente las privadas quedan ubicadas en sectores alejados pero con cubrimiento de rutas del SITM (ej. Campus principal Universidad Pontificia Bolivariana, UNAB), lo cual hace atractivo este modo para los usuarios. Además dado la distancia (algunas veces muy larga) en la que se encuentran algunos campus, las universidades han optado por establecer rutas en el área metropolitana para recoger a los estudiantes (ej. UDES). También hay que tener en cuenta que en la información que se encuentra en la ECV-2018 cuando se habla de transporte público, además de incluir buses se incluye los taxis y esto también impacta en que el uso de transporte público aparezca en un porcentaje alto en los estratos 5 y 6.

**Figura 11.**

*Relación entre los modos de transportes con el nivel socioeconómico para los trabajadores de la construcción en el año 2018*

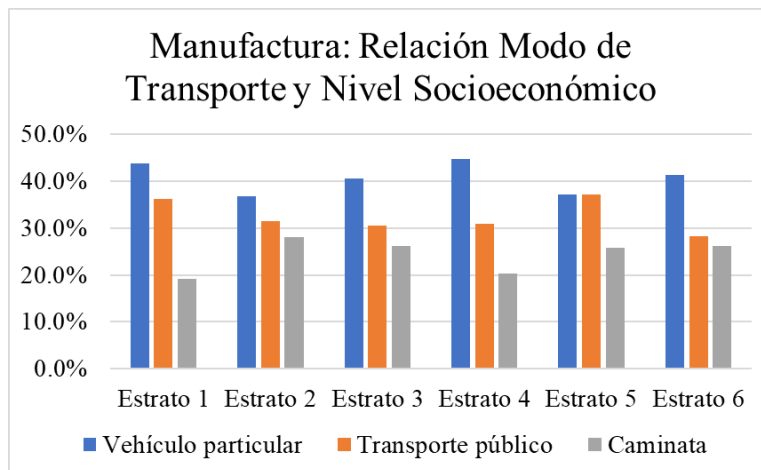


Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

Con base en la Gráfica 11 se puede determinar que los trabajadores de la industria de la construcción pertenecientes al estrato 5 prefieren utilizar otro modo de transporte diferente a los analizados ya que en la información de la ECV-2018 no aparecen respuestas asociadas a los modos analizados en esta investigación. Otra hipótesis a dichos resultados es que en el grupo de encuestados no había trabajadores de la industria de construcción en el estrato 5. Los trabajadores de estrato 4 prefieren optar por el vehículo particular. Por otro lado, los de estrato 2 son los que más usan el transporte público seguidos de los del estrato 1. Además, los del estrato 6 prefieren caminar hasta el lugar de trabajo, esto se debe principalmente a que las constructoras suelen encontrarse en edificios cercanos a su lugar de residencia.

**Figura 12.**

*Relación entre los modos de transporte con el nivel socioeconómico para los trabajadores de la industria manufacturera en el año 2018*



Nota. Elaboración propia en base a los datos de la ECV-2018 realizada por el DANE

## ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA<sup>39</sup>

De la Gráfica 12 se puede observar que el vehículo particular es la opción más escogida por los trabajadores de la industria de la manufactura, en especial aquellos trabajadores que viven en zonas de estrato 1 y 4, el transporte público es muy utilizado por empleados de estrato 5, y por último, los que más prefieren caminar hacia el trabajo son los trabajadores pertenecientes a los estratos 2 y 6.

#### **4. Accesibilidad integral para Bucaramanga y su área metropolitana**

##### **4.1 Metodología**

Para el análisis de accesibilidad se debe considerar el objetivo de estudio y los parámetros necesarios para la obtención de los resultados. En el desarrollo de esta investigación se estableció como objeto de estudio los modos de transporte: buses convencionales, SITM Metrolínea, caminata y vehículo particular; además del motivo de viaje: trabajo (construcción y manufactura) y estudio (educación superior) de los ciudadanos de Bucaramanga y su área metropolitana.

##### ***4.1.1 Recopilación de datos necesarios para aplicar la metodología de accesibilidad***

Los indicadores de accesibilidad utilizados son de separación espacial. Estos incorporan la variable tiempo de viaje entre el par de origen-destino y la sensibilidad de la demanda ante los cambios de la impedancia, es decir, estiman el promedio de los múltiples recorridos posibles desde el origen hacia todos los puntos de destino (Campos & Garrocho, 2006). Para poder utilizar estos indicadores, se requirieron los siguientes datos de Bucaramanga y su área metropolitana: las velocidades de los modos de transporte analizados, la clasificación socioeconómica, la importancia de cada destino (se relaciona a la cantidad de metros cuadrados ( $m^2$ ) existentes de los establecimientos de un sector específico) de los sectores manufactura, construcción y educación superior, y por último los tiempos de viaje (se utilizó la velocidad promedio de circulación asociada a la malla vial del área metropolitana).

Los datos necesarios para el cálculo fueron tomados de registros del DANE y de información de movilidad con la que contaba el grupo de investigación GEOMÁTICA de la Universidad Industrial de Santander (ver Tabla 4). Información que estaba principalmente en formato tipo *Shape* que fueron analizados usando el software *Qgis* en su versión 3.14. Asimismo, la información socioeconómica de los municipios de Piedecuesta y Girón se complementa con datos proporcionados de los Planes de Ordenamiento Territorial de cada municipio (Alcaldía de Piedecuesta, 2015) (Alcaldía de Girón, 2015).

**Tabla 4.**

*Nombres y fuentes de los archivos de georreferenciación tipo Shape utilizados en el software Qgis versión 3.14*

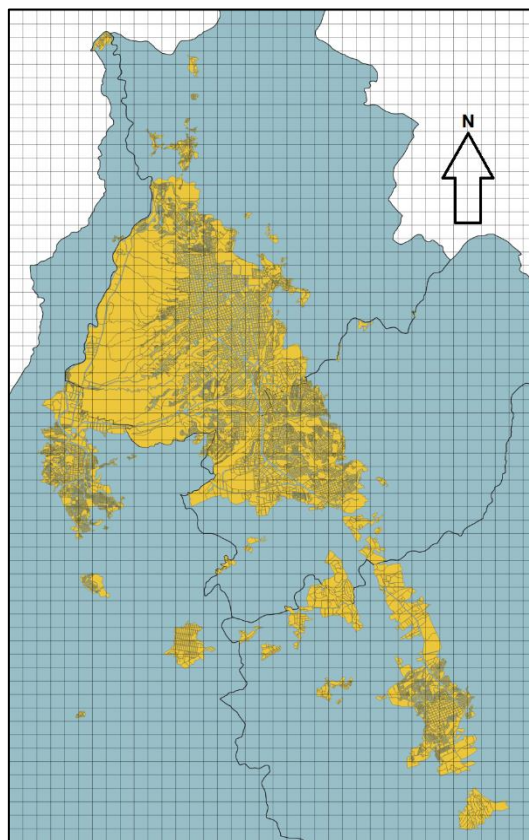
<b>Shape</b>	<b>Fuente</b>
Manzanas de AMB	DANE - Censo 2018 (Descarga Mgn Marco Geoestadístico Nacional, 2018)
Estratificación de AMB	Grupo de investigación GEOMÁTICA
Vías vehiculares AMB	DANE - Censo 2018 (Descarga Mgn Marco Geoestadístico Nacional, 2018)
Rutas de buses complementarios	Grupo de investigación GEOMÁTICA
Rutas de Metrolínea	Grupo de investigación GEOMÁTICA
Municipios de AMB	DANE - - Censo 2018 (Descarga Mgn Marco Geoestadístico Nacional, 2018)
Empresas de manufactura	Grupo de investigación GEOMÁTICA - Cámara de Comercio de Bucaramanga
Empresas de construcción	Grupo de investigación GEOMÁTICA - Cámara de Comercio de Bucaramanga

## 4.1.2 Montaje de shapes y datos en Qgis

Para el cálculo de accesibilidad, se asignó la información recopilada de los shapes (véase Tabla 4) y otros atributos, a las celdas de una cuadrícula de 22.8x32.32 kilómetros, dividida en rectángulos de 500x500 metros, obteniéndose una grilla de 38 x 64 cuadros; en el software de licencia gratuita Qgis.

### **Figura 13.**

*Grilla utilizada para el analisis de accesibilidad*



Nota. En la grilla también se puede observar el Shape de manzanas y el de municipios. La grilla fue elaborada en AutoCAD versión 2018 y luego insertada en Qgis

Con base a la información del archivo tipo *Shape* de empresas suministrado por la Cámara de Comercio de Bucaramanga, se obtuvo la información de la ubicación de las obras de construcción vigentes y empresa de manufactura. Luego empleando *Google Maps* se obtuvieron las áreas en m<sup>2</sup> de cada establecimiento que representaron la variable importancia en el cálculo de la accesibilidad, así mismo, se hizo para determinar la importancia de las instituciones de educación superior (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2019). Dicha información fue asignada también a la grilla.

#### ***4.1.3 Cálculos de tiempo de viaje, ruta más corta e indicadores de accesibilidad***

Para la obtención del tiempo de viaje, primero se calculó el tiempo para cada velocidad mediante la fórmula 1. Cabe resaltar, que la velocidad de caminata fue de 5.3 [km/h] (Barreira, Rowe, & Kang, 2010), la del SITM Metrolínea 30 [km/h] (González, Hernández & Rueda, 2016), la del vehículo particular y la del sistema de buses convencionales se encontraba incluida en los Shapes de rutas proporcionados por el Grupo de Investigación Geomatica de la Universidad Industrial de Santander de la escuela de Ingeniería Civil y el DANE. Estas velocidades tienen en cuenta la inclinación del terreno y las características de cada vía por donde circula cada vehículo.

$$t = \frac{6 * x}{100 * v} \quad (1)$$

Donde:

V = Velocidad [Km/h],

$x$  = Distancia [m]

$t$  = el tiempo [min].

Estos tiempos calculados fueron asignados a la grilla. La distancia utilizada para el cálculo corresponde a un lado de los cuadrados de la grilla que miden 500 metros.

Mediante la aplicación del algoritmo de *Dijkstra* (el cual consiste en encontrar el camino de menor longitud entre dos nodos) (Dijkstra, 1959) se obtuvieron los tiempos de viaje de la ruta más corta desde cada origen hacia todos los posibles destinos (representados por cada cuadro de la grilla). Para el cálculo de la accesibilidad integral se utilizaron las funciones: recíproca y exponencial negativa. El indicador recíproco utiliza la fórmula 2.

$$A_i = \sum_{j=1}^J \left[ \frac{O_j}{t_{ij}^\alpha} \right] \quad (2)$$

Donde:

$A_i$  = indicador de accesibilidad

$O_j$  = indicador de importancia (área del destino)

$t_{ij}$  = indicador de impedancia (tiempo de viaje)

$\alpha$  = parámetro de fricción de la distancia (asignado a las vías)

El parámetro de fricción de la distancia ( $\alpha$ ) es el mismo implementado en el modelo gravitacional el cual tiene valores que van desde 0.5 a 3 (Hansen, 1959). Para el estudio se utilizó un valor de 1, esto se debe a que los viajes de trabajo y de estudio son considerados de mayor importancia ya que las personas están dispuestas a viajar distancias más largas para asistir a estos lugares. El indicador exponencial negativo utiliza la fórmula 3.

$$A_i = \sum_{j=1}^J [O_j * e^{(-\beta * t_{ij})}] \quad (3)$$

Donde:

$A_i$  = indicador de accesibilidad

$O_j$  = indicador de importancia (área del destino)

$t_{ij}$  = indicador de impedancia (tiempo de viaje)

$\beta$  = parámetro de fricción de la distancia (asignado a las vías)

El parámetro de fricción de la distancia ( $\beta$ ) se encuentra derivado del comportamiento espacial de los usuarios, este parámetro se estima de forma empírica mediante el análisis de los datos de utilización del servicio (Campos & Garrocho, 2006). Para este estudio se utilizó un valor de -0.05.

Utilizando el lenguaje de programación *Python* se programó el algoritmo de *Dijkstra* y las funciones para el cálculo de accesibilidad integral (recíproco y exponencial negativa), mediante la librería de *Qgis* llamada *PyQgis* se ejecutó el script anteriormente mencionado, el cual mediante el uso de un plugin modificado y adaptado por los autores de la investigación (ver **Apéndice B**) se obtuvieron los resultados de accesibilidad.

### **4.2 Resultados**

Para los cálculos de accesibilidad integral se utilizaron las funciones recíproca y exponencial negativa. Esta última, mostró datos incongruentes ya que no se ajustaba de manera adecuada a la forma alargada que tiene el área metropolitana y además según la literatura dicha función se ajusta mejor a lugares donde los tiempos de desplazamiento en pares origen-destino son muy altos (ej.: Bogotá) por lo cual solo se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de accesibilidad hecho con la función recíproca.

#### ***4.2.1 Análisis de la accesibilidad integral por motivo de viaje***

A continuación, se presentan los resultados de accesibilidad obtenido por modo y por propósito de viajes.

**4.2.1.1 Sector construcción.** En el sector de la construcción se obtuvieron resultados de accesibilidad en base a los modos de transporte vehículo particular, caminata y transporte público para las 1781 empresas (pequeñas, medianas, grandes y microempresas) (ver **Apéndice C**, mapa 1a) de Bucaramanga y su área metropolitana para el año 2018. Los resultados muestran que para los modos de transporte vehículo particular, transporte público y caminata (siendo este último el mayor), del municipio de Bucaramanga todos presentan alta accesibilidad, principalmente en los barrios San Francisco, Sotomayor, Mejoras Públicas, La Aurora y Antonia Santos Centro.

Este resultado se debe en parte a que por estas zonas existe una infraestructura vial considerable que permite que los tres modos analizados puedan circular con comodidad, sin embargo estos sectores no son necesariamente los que concentran mayor cantidad de m<sup>2</sup> de construcción. Por otro lado, en el municipio de Girón solo se presenta alta accesibilidad por caminata en el barrio El Poblado (debido a la baja presencia de vías vehiculares y de rutas transporte público). En Floridablanca, en el barrio Cañaveral se presenta la mayor accesibilidad en el municipio, principalmente en vehículo particular debido a la concentración de vías que recorren la localidad. En Piedecuesta, la mayor accesibilidad se presenta en el barrio Centro también para vehículo particular. En el **Apéndice D** se puede observar el Mapa 2, donde se evidencia la variación de la accesibilidad para cada modo de transporte.

**4.2.1.2. Sector manufactura.** En el sector manufactura se analizaron 1151 empresas (ver **Apéndice C**, mapa 1b) (pequeñas, medianas, grandes y microempresas) registradas en el año 2018. Los barrios Bolívar, Antonia Santos Centro, Centro y Nuevo Sotomayor ubicados en el municipio

de Bucaramanga presentaron la mayor accesibilidad para los tres modos de transporte estudiados, principalmente en caminata debido a la mayor cantidad de caminos a pie disponibles. En Floridablanca, se presentan las mayores accesibilidades en los barrios Bosque (para los tres modos de transporte) y Molinos (para el vehículo particular). En Girón, los barrios El Palenque, Altos de San Antonio de Carrizal, Carrizal Campestre, San Antonio del Carrizal todos presentan la más alta accesibilidad por los tres modos de transporte, principalmente en caminata. En Piedecuesta, para caminata y transporte público se obtuvieron los mayores valores de accesibilidad en los barrios Cacharita y Cacharita II y San Francisco. En el **Apéndice E** se puede observar el Mapa 3, donde se evidencia la variación de la accesibilidad para cada modo de transporte.

**4.2.1.3 Instituciones de educación superior.** Para las 27 instituciones de educación superior (ver **Apéndice C**, mapa 1c) que hicieron parte del análisis, se observó que el barrio la Universidad ubicado en el municipio de Bucaramanga presenta la mayor accesibilidad para los modos de transporte de caminata y vehículo particular debido a que por aquí pasan muchas rutas de ambos modos. En Floridablanca, el barrio de Portal de Castilla es el que presenta la mayor accesibilidad del municipio por transporte público, caminata y vehículo particular. En Piedecuesta es el barrio Divino Niño, también por transporte público, caminata y vehículo particular. Girón, no cuenta con instituciones educativas de educación superior, por lo tanto, no hubo un resultado de accesibilidad a estos establecimientos. Además, se observó que para el modo transporte público el nivel de accesibilidad fue intermedio (entre 0.3 a 0.6 de accesibilidad) para todas las instituciones. En el **Apéndice F** se puede observar el Mapa 4, donde se evidencia la variación de la accesibilidad para cada modo de transporte.

#### ***4.2.2 Relación de la accesibilidad por motivo de viaje y el nivel socioeconómico***

En el sector de la construcción para los viajes por caminata, transporte público y vehículo particular, el nivel socioeconómico con más altos niveles de accesibilidad fue el estrato 3, el cual cuenta con la mejor conectividad debido a que los barrios con esta estratificación socioeconómica se encuentran en contacto con la mayoría de las rutas disponibles para los tres modos de transporte. Por otra parte, el estrato 1 requiere mejorar su conectividad para todos los modos de transporte analizados, principalmente para el transporte público debido a que cuenta con muy pocas rutas. Además estas zonas están alejadas de las áreas de mayor concentración de establecimientos de construcción, manufactura y educación superior.

Por otro lado, para el sector de la manufactura resultó la mayor accesibilidad en vehículo particular para las zonas de estrato 4, para caminata y transporte público fueron los barrios de estrato 2. Además, fue el estrato 1 el que presentó la menor accesibilidad para los modos de vehículo particular y transporte público. Por último, el estrato 6 fue el de menor accesibilidad en el modo caminata, esto se debió a que las zonas con este estrato se encuentran ubicadas lejos de los lugares donde se encuentran las empresas de este sector. En el Figura 3 se puede visualizar la distribución de los estratos en Bucaramanga y su área metropolitana.

Para las instituciones de educación superior, la relación del nivel socioeconómico y modo de transporte usado mostró que las zonas de estrato 1 fueron las de menor accesibilidad, mientras que las de mayor accesibilidad fueron las del estrato 5.

En el **Apéndice G**, se presenta la relación entre el nivel socioeconómico y modo de transporte para todos los estratos.

### **4.2.3 Discusión**

Se da a conocer efectivamente la inequidad en cuanto a transporte se refiere, que existe en Bucaramanga y su área metropolitana, debido a que las personas que se desplazan hacia los destinos de viaje estudiados, los que son mayoría, cuentan en algunos casos con accesibilidad baja o no muy alta entre los modos de transporte analizados. Se evidencia también que los sectores con estratificación uno, son las zonas donde menores establecimientos de interés la cual se evidencia en las escasas rutas existentes de transporte público hacia estos sectores además de la existencia de pocos establecimientos de construcción, manufactura e instituciones de educación superior.

Por otro lado, los resultados que se obtuvieron del análisis de accesibilidad usando función recíproca fueron concluyentes, pero con la exponencial negativa no se logró obtener resultados coherentes, debido a que esta fórmula se adapta mejor para ciudades de mayor extensión, más dispersa y de tiempos de viaje más largos.

Por último, cabe resaltar la dificultad al momento de realizar la caracterización de la población analizada, ya que al no existir una encuesta de movilidad reciente se tuvo que usar otra que aunque tenía datos de movilidad estos no se encontraban totalmente desglosados, además que los datos estaban nombrados mediante códigos asignados por familia y no por persona genero mayor reto al realizar la asociación de datos.

## 5. Conclusiones

Los resultados de la presente investigación demuestran la existencia de inequidad a nivel de accesibilidad entre los ciudadanos de Bucaramanga y su área metropolitana (AMB) a diferentes propósitos de viaje y usando diferentes modos. Dicha inequidad se evidencia en la distribución espacial de los barrios según su clasificación socioeconómica que permite identificar la como aquellos sectores de mejores ingresos poseen una ubicación privilegiada de mayor acceso a los diferentes modos de transporte en contraste con los habitantes de los estratos socioeconómicos más bajos donde su ubicación geográfica les genera barreras físicas para sus desplazamientos. Ejemplo de ello es que según el estrato socioeconómico la zona de estudio tiene un 76 % con población en los estratos 1,2 y 3 así estrato 3 (32%), estrato 2 (26%) y estrato 1 (18%).

Para los sectores analizados, los empleados pertenecientes a 1781 empresas de construcción fueron en su mayoría de estrato 1 (26%), y la minoría de estrato 6 (5%). Pero, según los resultados del cálculo de accesibilidad, los trabajadores que habitan zonas de estrato 3 fueron quienes poseen la más alta accesibilidad al dirigirse a su establecimiento de trabajo respectivo, con cualquiera de los modos de transporte estudiados. Por otro lado, los pertenecientes al estrato 1 carecen de buena accesibilidad a cualquiera de los 3 modos de transporte estudiados para dirigirse hacia su lugar de trabajo correspondiente. En base a esto, se puede apreciar la inequidad en materia de accesibilidad existente entre los ciudadanos pertenecientes a los barrios de estrato 1 que siendo la mayor población en el sector de la construcción, son quienes tuvieron la menor accesibilidad hacia estos establecimientos de trabajo utilizando cualquier los modos de transporte analizados.

## ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA<sup>52</sup>

En los sectores analizados, los empleados pertenecientes a las 1151 empresas de manufactura fueron en su mayoría de estrato 3 (35%), y la minoría de estrato 6 (4%). Por otro lado, los resultados del cálculo de accesibilidad evidenciaron que aquellos trabajadores que viven en zonas de estrato 2, tienen mayor accesibilidad en los modos de transporte público y caminata, quienes pertenecen al estrato 4 tienen la mayor accesibilidad al usar el vehículo particular. Además, los trabajadores que pertenecen a los estratos 1, 5 y 6, fueron quienes presentaron la menor accesibilidad para todos los modos de transporte analizados, siendo los de estrato 1 el de más baja accesibilidad. A pesar de que los empleados que viven en zona de estrato 3, abarcan la mayor proporción de trabajadores de empresas de manufactura, estos presentaron accesibilidad intermedia (valores entre 0.4 y 0.7 en su mayoría) para todos los modos de transporte al desplazarse hacia su lugar de trabajo.

Para el caso de las 27 IES analizadas, sus estudiantes en su mayoría pertenecen al estrato 3 (35%), y la minoría al estrato 6 (6%). Por otro lado, según los resultados del cálculo de accesibilidad, los estudiantes de educación superior que viven en zonas de estrato 2 presentan la mayor accesibilidad usando el vehículo particular y la caminata para dirigirse hacia su lugar de estudio; quienes pertenecen al estrato 5 presentaron una mayor accesibilidad al utilizar el transporte público; a su vez, los estudiantes de estrato 1 y 3 presentan las menores accesibilidades para todos los modos de transporte analizados. con base a lo anterior, se puede apreciar la inequidad que existe entre los estudiantes que viven en zonas de estrato 3, debido a que presentaron la menor accesibilidad para todos los modos de transporte resaltando que estos estudiantes quienes conforman la mayor población de estudiantes que asisten a instituciones de educación superior.

Los resultados del análisis y accesibilidad mostraron la inequidad que existe en Bucaramanga y su área metropolitana en materia de movilidad por los modos de transporte público, vehículo particular y caminata. A pesar de no contar con encuestas de movilidad ni información desagregada del tema, se pudo utilizar información de otras fuentes como la ECV-2018, archivos *Shapes* proporcionados por entidades, entre otros, y adaptarlas al estudio.

Esta investigación, evidencia la importancia y necesidad de hacer este tipo de estudios para así caracterizar la población y ofrecer una visión a las autoridades del gobierno local y de tránsito, que permitan priorizar inversiones, comprender la forma de desplazarse de los ciudadanos y generar planes de movilidad integrales y sustentables que sean efectivos para el mejoramiento de la accesibilidad.

## **6. Recomendaciones**

Se recomienda realizar más investigaciones en el campo de la accesibilidad ya que estos análisis permiten estructurar los modelos de planeación de movilidad de la zona. Por esta razón, se aconseja llevar a cabo trabajos futuros en este campo de investigación para Bucaramanga y su área metropolitana realizar una encuesta de movilidad que permitan conocer las preferencias de movilidad de los usuarios de cada modo de transporte. Adicionalmente, se espera que se implementen otros estudios de accesibilidad que involucren diferentes motivos de viaje, modos de transporte, además que se introduzcan nuevos parámetros asociados con el ambiente construido para el cálculo de los indicadores de accesibilidad.

### Referencias Bibliográficas

Adhvaryu, B., Chopde, A., & Dashora, L. (2019). Mapping public transport accessibility levels (PTAL) in India and its applications: A case study of Surat. *Case Studies on Transport Policy*, 7, 293-300.

Alcaldía de Bucaramanga. (2020). *Reactivación económica Bucaramanga*. Bucaramanga: Alcaldía de Bucaramanga.

Alcaldía de Girón. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Girón 2016 - 2019*. Girón.

Alcaldía de Piedecuesta. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Piedecuesta 2016 - 2019*. Piedecuesta.

Alcaldía de Piedecuesta. (2016). *Plan de Ordenamiento Territorial de Piedecuesta*. Piedecuesta: Alcaldía de Piedecuesta.

AMB. (s.f.). *Área Metropolitana de Bucaramanga*. Recuperado el 29 de Junio de 2020, de <https://www.amb.gov.co/historia/>

Barreira, T. V., Rowe, D., & Kang, M. (2010). Parameters of Walking and Jogging in Healthy Young. *International Journal of Exercise Science*, 3(1), 4-13.

Campos, J., & Garrocho, C. (2006). Un indicador de accesibilidad a unidades de servicios clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación. *Economía, Sociedad y Territorio*, VI (22), 1-60.

Clarivate Analytics. (s.f.). *Web of Science*. Recuperado el 13 de Julio de 2020, de [http://wcs.webofknowledge.com/RA/analyze.do?product=WOS&SID=7DeHuXkLRgPx7KY1f8K&field=PY\\_PublicationYear\\_PublicationYear\\_en&yearSort=true](http://wcs.webofknowledge.com/RA/analyze.do?product=WOS&SID=7DeHuXkLRgPx7KY1f8K&field=PY_PublicationYear_PublicationYear_en&yearSort=true)

Cote, S., & Porras, H. (jul-dic de 2016). Estimación De Los Factores De Penalización Del Tiempo En La Función De Costo Generalizado En Bucaramanga Y Su Área Metropolitana. *Uis Ingenierias*, 15(2), 135-144.

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Atlas de la Aglomeración de Bucaramanga*. Recuperado el 30 de Junio de 2020, de [https://osc.dnp.gov.co/administrator/components/com\\_publicaciones/uploads/Atlas\\_Aglomeracin\\_de\\_Bucaramanga.pdf](https://osc.dnp.gov.co/administrator/components/com_publicaciones/uploads/Atlas_Aglomeracin_de_Bucaramanga.pdf)

*Descarga Mgn Marco Geoestadístico Nacional*. (2018). Recuperado el 1 de Junio de 2020, de <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/descarga-mgn-marco-geoestadistico-nacional/>

Dijkstra, E. W. (1959). A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematlk, 1*, 269 - 271.

Estadística, D. A., & DANE. (2018). *Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH)*. Bogotá: DANE.

Garrocho, C., & Campos, J. (Septiembre - Diciembre de 2006). Un indicador de accesibilidad a unidades de servicio clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación. *Economía, Sociedad y Territorio, VI (22)*, 1-60.

Gonzalez, S., Hernández, C. & Rueda, D. (Julio - Diciembre de 2016). Análisis preliminar de un servicio expreso derivado de la ruta P8 del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea en Bucaramanga, *Ingenierías USBMed, VII (2)*, 74-88

Guzmán, L. A., Oviedo, D., & Rivera, C. (Diciembre de 2015). Estimación de los niveles de accesibilidad para evaluar la equidad en movilidad de acuerdo el motivo de viaje y el modo de transporte. *XI Congreso Colombiano de Ingeniería de Transporte*, 16.

Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planner, 25(2)*, 73 - 76.

Hernandez, D. (Agosto de 2017). Transporte público, bienestar y desigualdad: Cobertura y capacidad de pago en la ciudad de Montevideo. *La CEPAL (122)*, 166-184.

Karst, T., & Bert van, W. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12, 127-140.

La Asamblea Departamental de Santander. (1981). *Ordenanza No. 20 de 1981 (Diciembre 15)*. Bucaramanga.

Ley 142. (1994). Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Bogotá.

Ley 769. (2002). Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones. Bogotá. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/movilidad/secretaria-de-movilidad/codigo-nacional-de-transito>

Litman, T. (2020). Evaluating Transportation Equity Guidance For Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning. *World Transport Policy & Practice*, 8(2), 50-65.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (23 de Diciembre de 2019). *Instituciones de educación superior*. Recuperado el 19 de Julio de 2020, de <https://www.datos.gov.co/Educaci-n/INSTITUCIONES-DE-EDUCACI-N-SUPERIOR/iwb2-sk4>

Niehaus, M., Galilea, P., & Hurtubia, R. (2015). Accesibilidad y equidad: Ampliando la caja de herramientas para la planificación de transporte. *XVII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*. Concepción.

NTC 6304. (2018). Accesibilidad de las personas al medio físico. 2018.

Ortúzar Dios, J. (2012). *Modelos de demanda de transporte*. Ediciones UC.

Peña, L. (2010). *La revisión bibliográfica. Proyecto de Indagación*. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de [https://www.javeriana.edu.co/prin/sites/default/files/La\\_revision\\_bibliografica.mayo\\_2010.pdf](https://www.javeriana.edu.co/prin/sites/default/files/La_revision_bibliografica.mayo_2010.pdf)

Quintero Gonzáles, J.R. (2019). "Desarrollo orientado al transporte sostenible (DOTS). Una prospectiva para Colombia". *Bitácora Urbano Territorial*, 29 (3): 59-68. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n3.65979>

Ruiz Villamizar, L. (06 de Octubre de 2019). *Vanguardia*. Obtenido de Datos del censo poblacional 2018: Así vivimos en Santander: [www.vanguardia.com/economia/local/datos-censo-poblacional-2018-asi-vivimos-en-santander-IA1516684](http://www.vanguardia.com/economia/local/datos-censo-poblacional-2018-asi-vivimos-en-santander-IA1516684)

## ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA60

Sabogal, O. A., Escobar, D. A., & Oviedo, D. R. (21 de Mayo de 2018). Making accessibility visible: Visualizing spatial accessibility trough multi-dimensional sacaling model. *Modern applied Science*, 12(6). doi:10.5539/más. v12n6p70

## Apéndices

**Apéndice A.** *Tabla de referencias consultadas para la realización de la conceptualización*

<b>Título</b>	<b>Autor/es</b>	<b>Resumen</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Journal</b>	<b>Observaciones</b>
Un indicador de accesibilidad a unidades de servicios clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación.	(Campos & Garrocho, 2006)	Esta investigación propone el diseño de un indicador de accesibilidad a servicios de transporte públicos y privados que pueda ser utilizado en la planeación urbana y este indicador será también de desempeño y de calidad metropolitana en México.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñar un indicador de accesibilidad a servicios públicos con sólidos fundamentos conceptuales, que por su sencillez, utilidad y requerimientos de información pueda ser utilizado en tareas de planeación urbana en el contexto nacional, de tal manera que enriquezca la construcción de observatorios urbanos en México;</li> <li>- Poner a prueba el diseño conceptual y operativo del indicador de accesibilidad a servicios públicos y privados en una zona de estudio de alta complejidad, como el AMT.</li> <li>- Contribuir con propuestas concretas al debate que actualmente se lleva a cabo en México sobre la importancia de la accesibilidad a servicios públicos y privados, como un</li> </ul>	Economía, Sociedad y Territorio Google Académico	Se definen los principales métodos de estimación de indicadores de accesibilidad que reporta la literatura y demuestra el procedimiento y aplicación de su propio indicador basado en los métodos principales.

indicador de desempeño y de calidad metropolitana.

Special issue on methodological issues in accessibility. (Lynn Tischer, Lapham, Wells, Fenn, & Pendrick, 2001)

En esta investigación se reflejan diversas consideraciones que deben tenerse en cuenta al elaborar indicadores para medir accesibilidad, se abordan también cuestiones conceptuales para definir y medir accesibilidad, así como el desarrollo de herramientas de aplicación y ejemplos empíricos.

- Explicar los requerimientos para la creación de consideraciones basadas en la accesibilidad para la planificación y evaluación del transporte.

- Informar sobre las medidas dinámicas de accesibilidad basadas en STP y procedimientos computacionales para evaluar la accesibilidad individual en redes con flujo variable de tiempo.

- Ofrecer herramientas para la evaluación de la accesibilidad de los viajeros en diferentes escenarios de congestión de tráfico, estrategias alternativas de control de flujo de red y políticas de programación de actividades.

Journal of Transportation and Statistics - United States Department of Transportation

Se centra también en el estudio del comportamiento del viaje se centra en comprender los procesos de decisión de un individuo y analizar los factores elementales que determinan el viaje

<p>Space-Time and Integral Measures of Individual Accessibility: A Comparative Analysis Using a Point-based Framework</p>	<p>(Kwan, 1998)</p>	<p>Este documento compara las relaciones y los patrones espaciales de treinta medidas mediante procedimientos SIG basados en la red. Los resultados de este estudio indican que los índices de espacio-tiempo e integrales son tipos distintivos de medidas de accesibilidad que reflejan diferentes dimensiones de la experiencia de accesibilidad de las individuales</p>	<p>- Adaptar las medidas de evaluación individual de accesibilidad utilizando un enfoque desagregado y no zonal. - Desarrollar diferentes tipos de medidas de accesibilidad basadas en un marco conceptual alternativo.</p>	<p>Geographical Analysis - Google Académico</p>	<p>Utilizan las medidas de accesibilidad que utilizan el efecto de impedancia de la distancia, el tiempo o los costos de transporte generalizados y la distribución espacial de oportunidades urbanas para producir índices numéricos de accesibilidad para cada ubicación en un área de estudio. Siendo las más utilizadas los índices de tipo gravedad y los de oportunidad acumulativa.</p>
<p>Estimación De Los Factores De Penalización Del Tiempo En La Función De Costo Generalizado En Bucaramanga Y Su Área Metropolitana</p>	<p>(Cote &amp; Porras, 2016)</p>	<p>Este documento, se centra en estimar los factores de penalización del tiempo en la función del costo generalizado para el transporte público. Para ello se define la ecuación de costo generalizado de viaje, la cual incluye el tiempo de caminata, el tiempo de espera, el tiempo en vehículo y los tiempos de transferencia y el costo de la tarifa, afectada por unos factores de penalización, y se emplea en la mayoría de los métodos de asignación de demanda de viajes dado que</p>	<p>- Estimar los factores de penalización del tiempo en la función del costo generalizado para el transporte público.</p>	<p>UIS Ingenierías - Google Académico</p>	<p>Definen la ecuación de costo generalizado del tiempo y aplican encuestas de preferencia declaradas para plantear situaciones a partir de las preferencias de los individuos. Este es el primer modelo planteado en Bucaramanga y su Área Metropolitana en el que se intenta evaluar el factor tiempo pero teniendo en consideración el estrato al cual pertenece la persona encuestada.</p>

<p>Evaluating Transportation Equity Guidance For Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning</p>	<p>(Litman, 2020)</p>	<p>incluye componentes tales como tiempo de viaje y tarifas, se podría afirmar que estos elementos son los que determinan la satisfacción del usuario.</p> <p>Este informe proporciona orientación práctica para evaluar el capital del transporte. Define varios tipos de impactos de capital y equidad, y describe formas prácticas de incorporar la evaluación de la equidad y los objetivos en la planificación del transporte.</p>	<p>- Analizar la equidad en el transporte desde diferentes perspectivas, la distribución de impactos y la toma de decisiones para la planificación del tránsito.</p>	<p>World Transport Policy &amp; Practice Victoria Transport Policy Institute</p>	<p>El análisis de la equidad en el transporte es importante e inevitable. Las decisiones de planificación del transporte a menudo tienen impactos significativos en la equidad y las preocupaciones de equidad a menudo influyen en las actividades de planificación del transporte. La mayoría de los profesionales y responsables de la toma de decisiones quieren sinceramente ayudar a alcanzar los objetivos de equidad. La equidad en el transporte puede ser difícil de evaluar porque hay varios tipos de equidad, impactos, formas de medir los impactos y las categorías de personas.</p>
<p>Equidad, Accesibilidad y Transporte. Aplicación</p>	<p>(Younes, Escobar, &amp; Holguín, 2016)</p>	<p>En esta investigación se analiza la posición geoespacial del principal sector universitario de la</p>	<p>- Analizar la accesibilidad media integral ofrecida por la red de transportes a la comunidad</p>	<p>Información Tecnologica SciELO</p>	<p>- Se encontró que los estudiantes que viven en barrios de estrato bajo son los que deben invertir más tiempo para desplazarse</p>

<p>explicativa mediante un análisis de Accesibilidad al Sector Universitario de Manizales (Colombia)</p>	<p>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 basa en cuatro etapas teniendo</p>	<p>universitaria de Manizales, a través de un modelo geoestadístico.</p>	<p>hacia la Universidad, situación contraria a la obtenida con los estudiantes y docentes que residen en barrios de estrato alto. Los resultados expresan la inequidad espacial que se refleja en altos tiempos de viaje, así como la ausencia de posibilidades reales de llegar al sector universitario, concluyendo que es necesario el ampliar la variedad de transporte y mejorar la calidad de los modos de transporte que llegan a dicho sector desde la residencia de estudiantes y docente</p>
<p>Diseño metodológico para estimar indicadores de accesibilidad en entornos periféricos de una zona metropolitana</p>	<p>(Obregón &amp; Ángeles, 2018) En este artículo se analiza la accesibilidad de las periferias en los ámbitos metropolitanos, utilizando indicadores de separación e interacción espacial para analizar la accesibilidad por medio de transporte público (autobuses) y automóviles, contrastando los resultados con las tasas promedios de viajes.</p>	<p>- Medir la accesibilidad de la periferia de una zona metropolitana mediante indicadores de separación e interacción espacial, teniendo en cuenta los múltiples destinos y viajes.</p>	<p>Estudios Demográficos y Urbanos - SciELO En este artículo se encontraron las definiciones de los indicadores de accesibilidad de separación e interacción espacial, de oportunidades acumulativas, de utilidad y de espacio-temporal; así como sus metodologías de aplicación. Ayudo a entender las herramientas disponibles para medir accesibilidad y muestran el caso de estudio como ejemplo.</p>

<p>Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions</p>	<p>(Karst &amp; Bert van, 2004)</p>	<p>Se realiza una exhaustiva revisión bibliográfica de las medidas de accesibilidad para evaluar su usabilidad en las evaluaciones estratégicas y de desarrollo del transporte, teniendo en cuenta criterios base teórica, interpretabilidad y comunicación, y requisitos de datos de estudio.</p>	<p>- Realizar una investigación teórica y empírica sobre las relaciones entre los diferentes modelos de medición de accesibilidad.</p>	<p>Journal of Transport Geography - ELSEVIER</p>	<p>En el artículo se encontraron diferentes definiciones y teorías respecto a los indicadores de accesibilidad y sus aplicaciones para el desarrollo y planificación urbana. así como también diferentes tipos de indicadores y sus respectivos parámetros, variables y ecuaciones.</p>
<p>Urban accessibility index: Literature review</p>	<p>(Bhat, C., Handy, S., Kockclman, K., Weston, L., &amp; Chen, Q., 2000)</p>	<p>Este informe comprende una revisión de la literatura sobre la medición de la accesibilidad con fines de planificación del transporte. una matriz de comparación presenta información resumida sobre los documentos revisados.</p>	<p>- Desarrollar una medida que responda tanto al sistema de transporte como al uso de la tierra.</p>	<p>Tachnical Report Documentation</p>	<p>Desagrega a lo largo de cuatro dimensiones (modo, hora del día, tipo de actividad y detalles especiales).</p>
<p>Estimación de los niveles de accesibilidad para evaluar la equidad en movilidad de acuerdo el motivo de viaje y el modo de transporte</p>	<p>(Guzmán, L., Oviedo, D., &amp; Rivera, C., 2015)</p>	<p>En este proyecto se realiza el análisis y cálculo de la accesibilidad para la ciudad de Bogotá con el objetivo de medir la inequidad entre ingresos y modos de transporte (automóvil, transporte público y TransMilenio), además, se construyeron curvas de Lorenz para obtener el</p>	<p>- Medir la inequidad entre ingresos y modos de transporte (automóvil, transporte público y TransMilenio)                  - Construir las curvas de Lorenz con el indicador de accesibilidad.                  - Obtener el coeficiente de Gini por modo y nivel de ingreso.</p>	<p>Congreso Colombiano de Ingeniería de Transporte</p>	<p>Muestra que el mayor beneficio para zonas alejadas del centro y viajes largos es para los modos automóvil y Transmilenio.</p>

<p>Caracterización socioeconómica de la desigualdad: una aproximación a Bucaramanga</p>	<p>(Galvis, Y., &amp; Calderón, L., 2016)</p>	<p>Esta investigación se enfoca en el estudio de la desigualdad evaluada desde el coeficiente de Gini con el fin de caracterizar la situación de desigualdad presente en la ciudad de Bucaramanga</p>	<p>- Caracterizar a nivel socioeconómico las situaciones de desigualdad presentes en la ciudad de Bucaramanga.          - Analizar la distribución de los ingresos bajo la estructura de análisis de Thomas Piketty.          - Buscar una visión social a partir del marco valorativo de las capacidades propuesto por Amartya Sen.</p>	<p>Universidad Industrial de Santander</p>	<p>Se realiza un examen de la distribución de los ingresos el cual está orientado bajo la estructura de análisis de Thomas Piketty en torno a los ingresos y sus dos principales fuentes: trabajo y capital.</p>
<p>Uneven mobilities, uneven opportunities: Social distribution of public transport accessibility to jobs and education in Montevideo</p>	<p>(Hernandez, D., 2018)</p>	<p>En este trabajo se analizan los niveles de cobertura territorial del transporte público, así como la capacidad de pago por el servicio en la ciudad de Montevideo. Además, se buscan pautas de estratificación entre grupos socioeconómicos diversos</p>	<p>- Analizar la cobertura territorial del transporte público y la capacidad de pago por el servicio en la ciudad de Montevideo.          - Buscar la relación socioeconómica de los usuarios del transporte público en la ciudad de Montevideo.</p>	<p>Journal of Transport Geography          SciELO</p>	<p>Los indicadores presentados dan cuenta de niveles muy altos de cobertura básica de la red, lo que coincide con un patrón de crecimiento asociado al seguimiento de la demanda espacial y horaria.</p>

<p>Mapping public transport accessibility levels (PTAL) in India and its applications: A case study of Surat</p>	<p>(Adhvaryu, B., Chopde, A., &amp; Dashora, L., 2019)</p>	<p>Esta investigación está enfocada en el mejoramiento del sistema de transporte público mediante el estudio de accesibilidad empleando la herramienta PTAL la cual permite la visualización de la ciudad de forma espacial</p>	<p>- Mejorar la accesibilidad del sistema de transporte público mediante el empleo de la herramienta PTAL para la ciudad de Surat.</p>	<p>Case Studies on Transport Policy - El Sevier</p>	<p>Los mapas de Surat PTAL se crean para un año base (2016) y año futuro (2021)</p>
<p>Análisis preliminar de accesibilidad para personas con discapacidad física-motriz a los servicios de transporte público en el área metropolitana de Bucaramanga</p>	<p>(Rodriguez, J., &amp; Gómez, J., 2016)</p>	<p>Este artículo es una investigación de campo la cual analiza las condiciones de movilidad de las personas con discapacidad física – motriz del área metropolitana de Bucaramanga. La metodología se basó en la identificación y clasificación de los sistemas de transporte público (bus convencional, taxis y Metrolínea), la valoración de la infraestructura adecuada para el desplazamiento de la población en estudio</p>	<p>- Analizar las condiciones de movilidad de las personas con discapacidad física – motriz del área metropolitana de Bucaramanga. - Proponer una alternativa que permita ser el punto de partida en la planificación de alternativas que permitan reducir la barrera del transporte para las personas con discapacidad física – motriz del área metropolitana de Bucaramanga.</p>	<p>PUENTE Revista Científica</p>	<p>El procesamiento de datos obtenidos se hizo mediante una encuesta de preferencias declaradas aplicada a 100 habitantes con limitación física de la ciudad.</p>
<p>Making accessibility visible: visualizing spatial accessibility</p>	<p>(Sabogal, O., Escobar, D., &amp; Oviedo D., 2018)</p>	<p>Esta investigación explora el uso de MDS para la visualización de la accesibilidad espacial. Tomando las ciudades de Pereira y Dosquebradas, que</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explora el uso de MDS para la visualización de la accesibilidad espacial</li> <li>• Reconfigurar visualmente la distribución espacial de intersecciones en la</li> </ul>	<p>Canadian Center of Science and Education</p>	<p>El Escalado Multidimensional (MDS) es una herramienta estadística destinada a explicar las relaciones de las distancias, como la analizada en accesibilidad, a través de la</p>

---

through multi-dimensional scaling model

pertenecen a la Zona Metropolitana del Centro-Oeste (MACW) de Colombia. La herramienta busca contribuir a informar mejor las evaluaciones de la política de transporte y accesibilidad e identificar posibles desigualdades espaciales en relación con el transporte en las zonas urbanas

red de transporte, representando gráficamente los niveles de accesibilidad para diferentes zonas en la región metropolitana.

construcción de un nuevo espacio de proyecciones.

---

Apéndice B. Visualización plugin usado en Qgis para calcular accesibilidad

The image shows a dialog box for calculating accessibility in QGIS. It contains several input fields and dropdown menus, each with an arrow pointing to a descriptive text block. The text blocks explain the purpose of each parameter and provide mathematical formulas for the accessibility functions.

**Capa Velocidades:** grilla\_AMB → Introducir el nombre del Shape (Grilla) que contiene las velocidades de los modos de transporte analizados (Bus complementario, SITM Metro línea, caminata y vehículo particular)

**Columna Velocidades (km/hr):** VEL\_TPúblico → Introducir el nombre la columna ubicada en el Shape (Grilla) donde se encuentre la velocidad del modo de transporte analizado

**Capa Destinos:** grilla\_AMB → Introducir el nombre del Shape (Grilla) en donde se encuentran la información de la importancia de los sectores analizados (educación superior, industria de la construcción e industria manufacturera)

**Columna Importancia Destinos:** m2\_Constru → Introducir el nombre de la columna en donde se encuentre la importancia de analisis

**Lado celda (m.):** 500 → Introducir el largo de las celdas del Shape (Grilla)

**Cantidad de Celdas en X:** 38 → Introducir el total de filas (X) y de columnas (Y) que tiene en total el Shape (Grilla)

**Cantidad de Celdas en Y:** 64 → Introducir el total de filas (X) y de columnas (Y) que tiene en total el Shape (Grilla)

**Vecindad:** Ortogonal → Se escoge la modalidad de vecindad de para el algoritmo de Dijkstra

**Tipo de Calculo:** Todos los Destinos → Se escoge el tipo de cálculo a realizar, "Todos los destinos permite calcular el tiempo de viaje a cada destino para luego aplicar la función de accesibilidad integrada

**Accesibilidad Integral:** Exponencial Negativa → Definir la función de accesibilidad

**Peso Minimo Destino:** 50 → Introducir el valor desde el cual una celda se considera destino en la columna de importancia de los destinos o sectores analizados

**Tiempo de Corte Calculo:** 1000 → Introducir el tiempo acumulado el cual el algoritmo de Dijkstra deja de calcular, este tiempo debe ir en minutos

**Exponencial tiempo (Gravitacional):** 1 → Introducir el valor del parámetro alfa usado para calcular la accesibilidad integral "Reciproco"

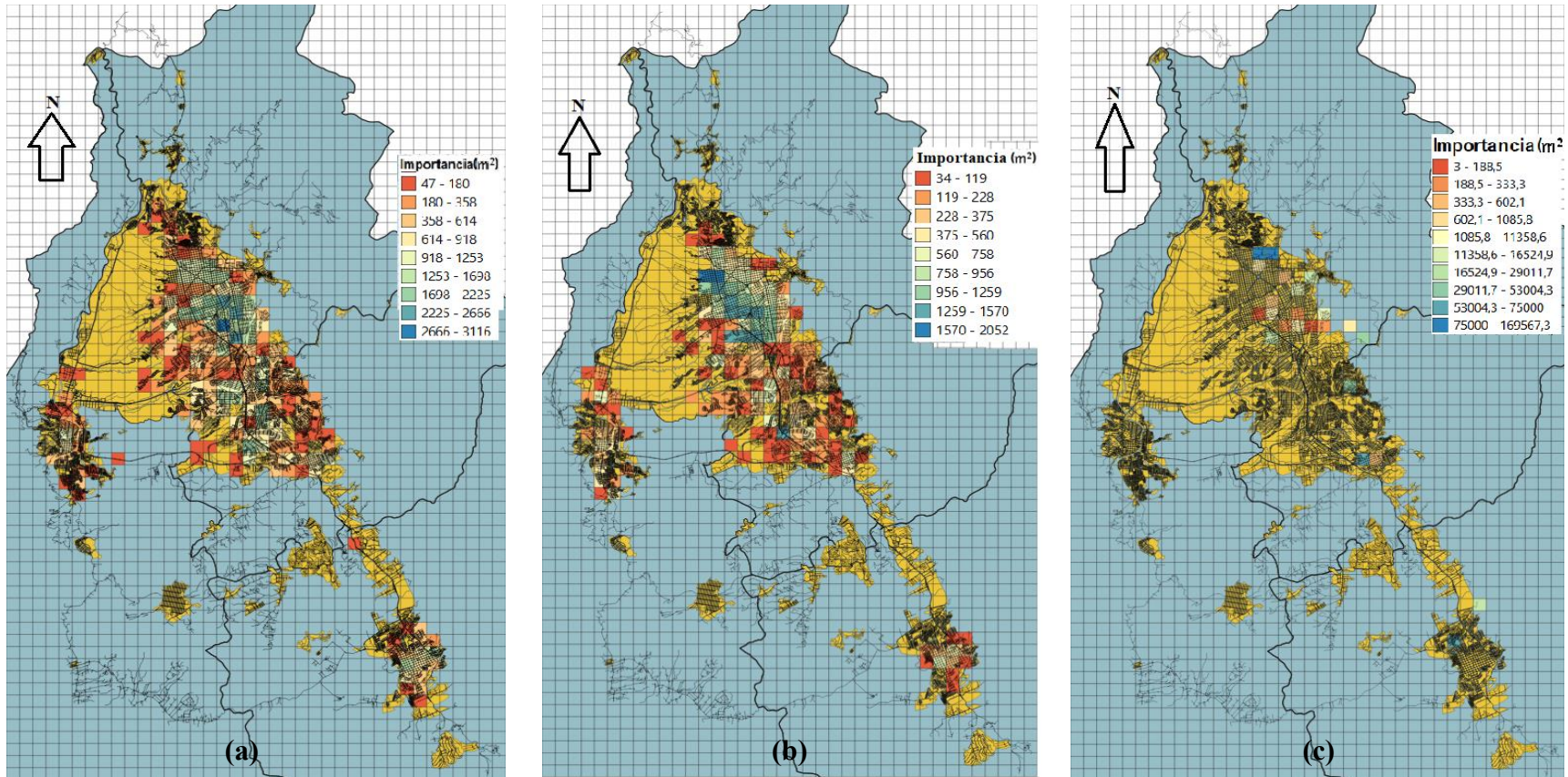
**Elasticidad (Exponencial Negativa):** -0.05 → Introducir el valor del parámetro beta utilizado para calcular la accesibilidad integral "Exponencial negativa"

**Formulas:**

- Exponencial negativa:  $Acc_i = \sum_{j=1}^J [O_j * e^{(-b * t_{ij})}]$
- Reciproco:  $Acc_i = \sum_{j=1}^J \left[ \frac{O_j}{t_{ij}^\alpha} \right]$

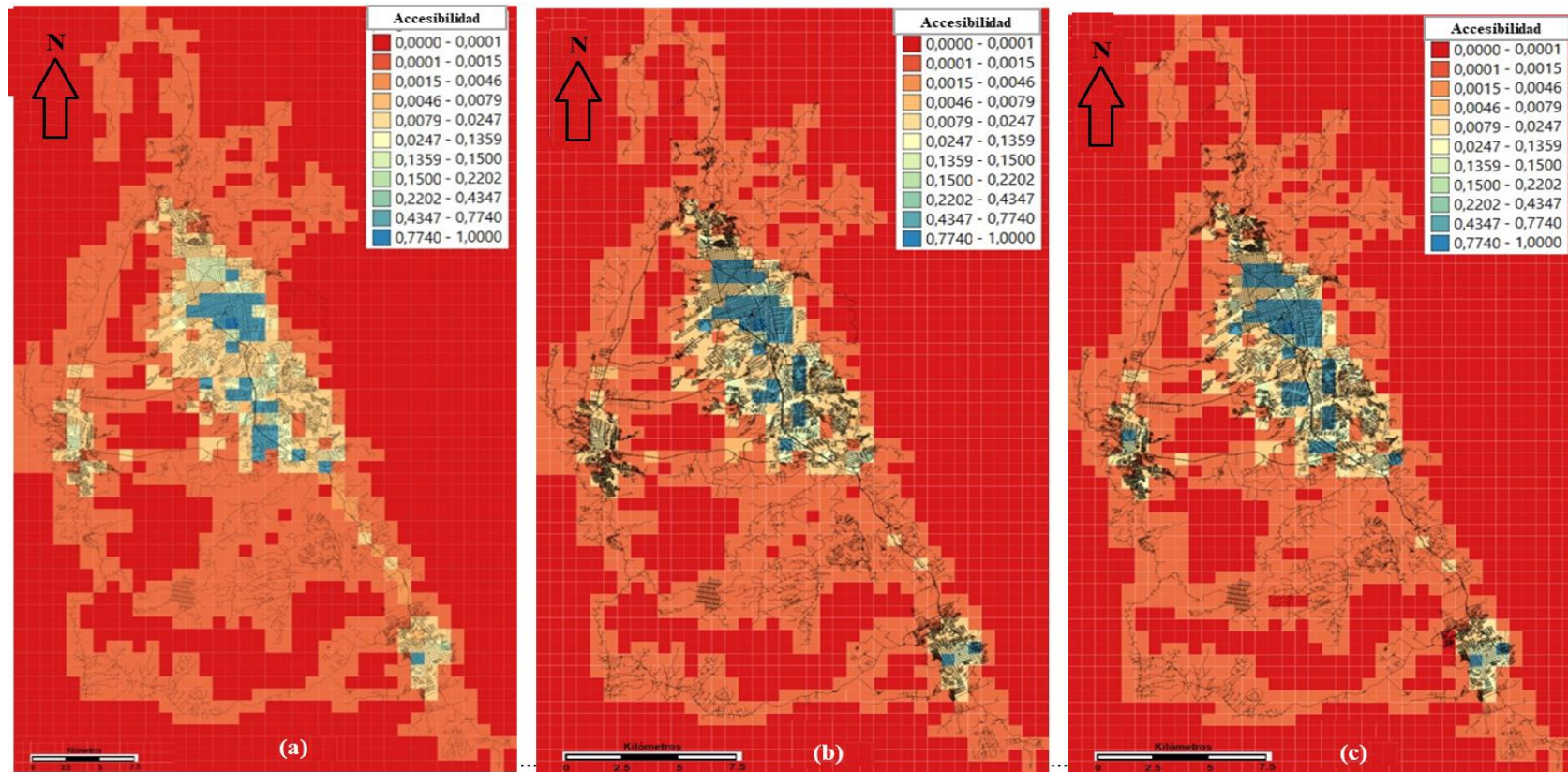
Buttons: Aceptar, Cancelar

**Apéndice C. Ubicación de la importancia de los establecimientos de construcción, manufactura e instituciones de educación superior**



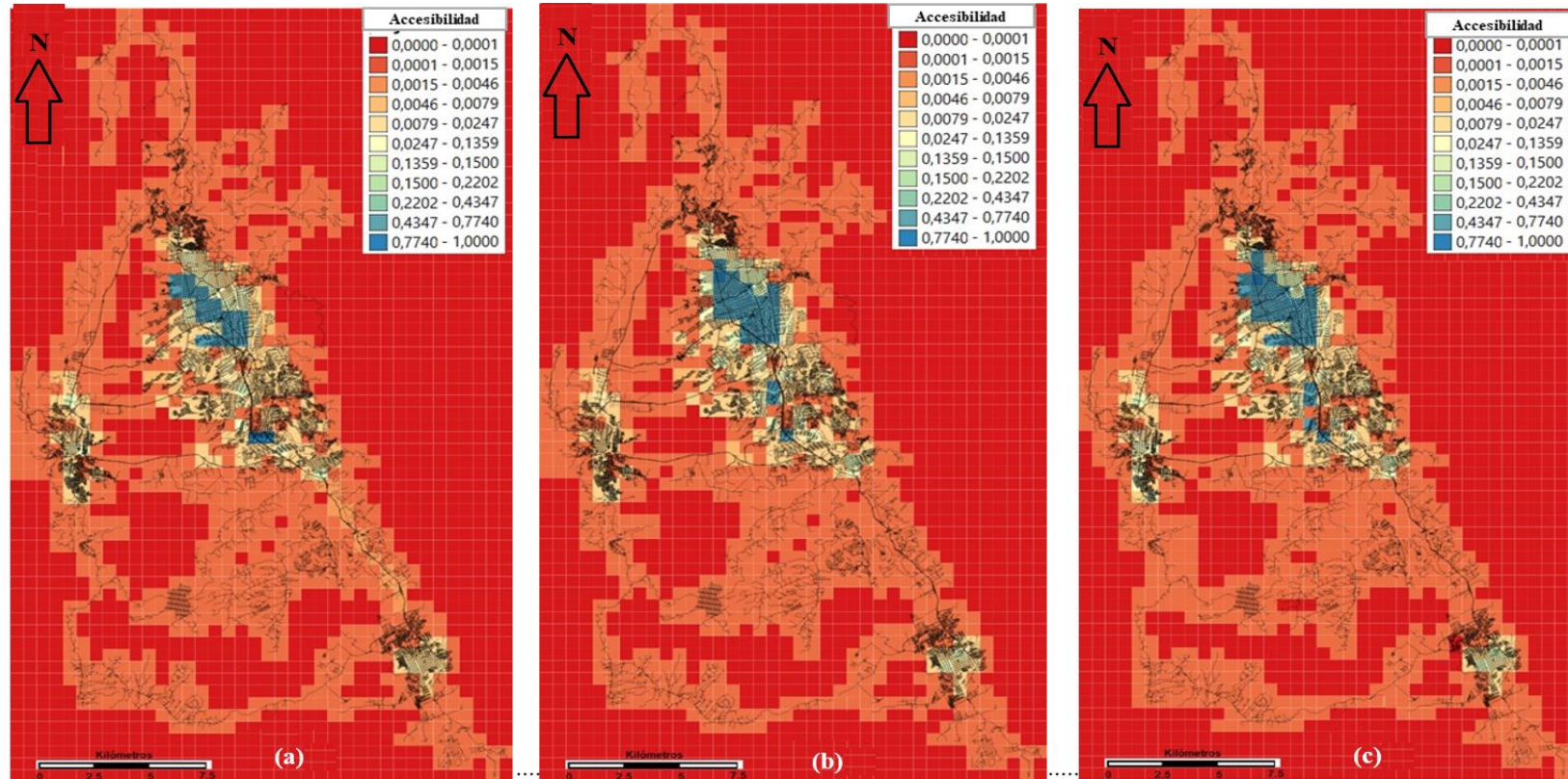
*Mapa 1.* Importancia representada en metros cuadrados de los sectores construcción, manufactura e instituciones de educación superior. siendo (a) la importancia del sector construcción, (b) importancia del sector manufactura y (c) importancia de las instituciones de educación superior. Nota. el color rojo representa importancias bajas y el color azul representa altas importancias.

Apéndice D. Accesibilidad integral motivo de viaje construcción

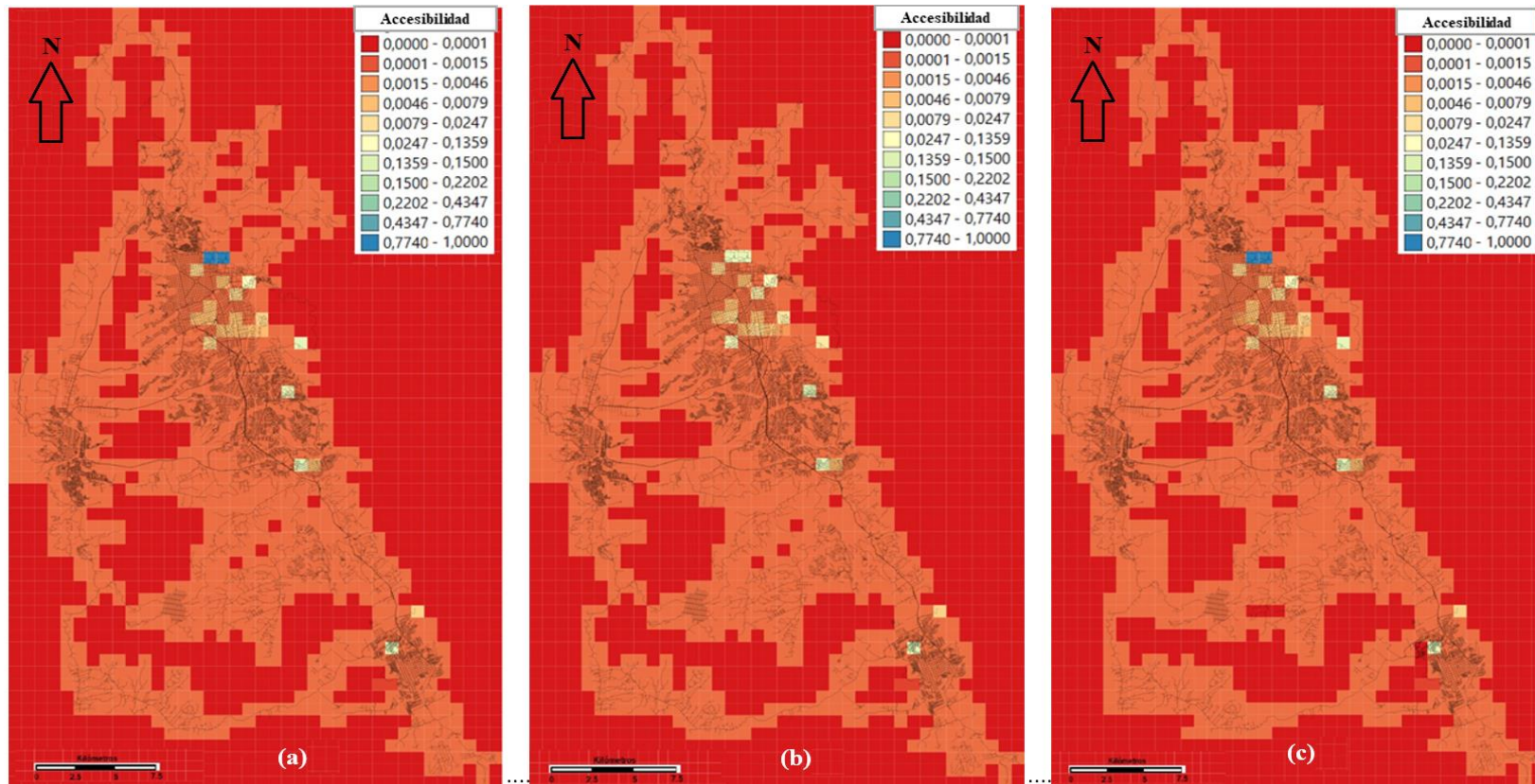


Mapa 2. Accesibilidad al sector construcción. (a) accesibilidad para vehículo particular, (b) accesibilidad para el transporte público el cual incluye buses complementarios y SITM Metrolínea, y (c) accesibilidad de caminata. Fuente: elaboración propia mediante el software Qgis versión 3.14. Nota. Los valores de accesibilidad se encuentran en un rango de 0 a 1, siendo cero accesibilidades muy bajas y 1 para accesibilidades muy altas.

## Apéndice E. Accesibilidad integral motivo de viaje manufactura



## Anexo VI. Accesibilidad integral motivo de viaje instituciones de educación superior



Mapa 4. Accesibilidad de las instituciones de educación superior. (a) presenta la accesibilidad por el modo vehículo particular, (b) muestra la accesibilidad por el modo transporte público (buses complementarios y SITM Metrolínea) y (c) la accesibilidad para el modo caminata. Fuente: elaboración propia mediante el software *Qgis* versión 3.14. Nota. Los valores de accesibilidad se encuentran en un rango de 0 a 1, siendo cero accesibilidades muy bajas y 1 para accesibilidad muy alta.

**Apéndice F. Relación nivel socioeconómico y modo de transporte**

<b>ACCESIBILIDAD INTEGRAL</b>			
<b>INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN</b>			
Nivel Socioeconómico	Vehículo Particular	Caminata	Transporte Público (SETP y SITM)
Estrato 1	0.077	0.12	0.06
Estrato 2	0.52	0.63	0.63
Estrato 3	0.96	0.97	0.98
Estrato 4	0.82	0.83	0.81
Estrato 5	0.61	0.695	0.53
Estrato 6	0.45	0.45	0.44
<b>INDUSTRIA DE LA MANUFACTURA</b>			
Nivel Socioeconómico	Vehículo Particular	Caminata	Transporte Público (SETP y SITM)
Estrato 1	0.12	0.26	0.13
Estrato 2	0.49	0.95	0.99
Estrato 3	0.5	0.73	0.75
Estrato 4	0.99	0.71	0.81
Estrato 5	0.189	0.15	0.157
Estrato 6	0.15	0.22	0.23
<b>INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR</b>			
Nivel Socioeconómico	Vehículo Particular	Caminata	Transporte Público (SETP y SITM)
Estrato 1	0.000115	0.00012	0.00028
Estrato 2	0.79	0.998	0.435
Estrato 3	0.0029	0.0019	0.0045
Estrato 4	0.081	0.067	0.15
Estrato 5	0.345	0.352	0.62
Estrato 6	0.082	0.084	0.147

Nota. Los valores de accesibilidad se encuentran en un rango de 0 a 1, siendo cero accesibilidades muy bajas (la menor de color rojo) y uno para accesibilidad muy alta (la mayor de color verde).

# ACCESIBILIDAD PARA BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA 1