

Análisis de la accesibilidad a espacios públicos en la ciudad de Bucaramanga desde una
perspectiva de desigualdad económica

Silvia Camila Vega Villamizar y Sebastián Dueñas Mosquera

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Yerly Fabián Martínez Estupiñán.

Magister en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Accesibilidad.....	12
1.1 Metodologías de accesibilidad destacadas.....	14
1.1.1 Teoría de grafos y separación espacial.	14
1.1.2 Oportunidades acumulativas.....	15
1.1.3 Medida de gravedad o interacción espacial.	15
1.1.4 Medida de utilidad.	16
1.1.5 Medida espacio temporal.	17
2. Revisión Bibliográfica	17
3. Caracterización de la zona de estudio	21
3.1 Caracterización según su población.....	22
3.1.1 Género.....	22
3.1.2 Edad	24
3.1.3 Condición de discapacidad	25
3.2 Caracterización según su extensión	29
4. Metodología	36
4.1 Accesibilidad Recíproca	37
4.2 Accesibilidad Exponencial Negativa	38
4.3 Parámetros para el cálculo de accesibilidad.....	38

4.3.1 Análisis de tiempos para el cálculo de accesibilidad	40
4.3.2 Análisis de tiempos mínimos ponderados del recorrido	41
4.3.3 Floyd Warshall.....	42
5. Resultados	43
6. Conclusiones	50
7. Investigaciones futuras.....	53
Referencias Bibliográficas	55

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo, proceso metodológico de la revisión bibliográfica.....	18
Figura 2. Publicaciones realizadas por año, desde el año 2000.	20
Figura 3. Localización de la ciudad de Bucaramanga.	21
Figura 4. Población según género. Censo Nacional de Población y vivienda, 2018 (DANE).	23
Figura 5. Población según su género. Censo Nacional de Población y vivienda, 2018 (DANE).	24
Figura 6. Población según edad. Censo Nacional de Población y vivienda, 2018 (DANE).	25
Figura 7. Estrato socio económico.....	28
Figura 8. Género en la población en condición de discapacidad. Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga.....	29
Figura 9. Satisfacción con el Espacio Público de ciudad. Décima encuesta de percepción ciudadana.	34
Figura 10. Distribución espacial de la población en condición de pobreza según ingresos de la cabecera municipal 2021.....	35
Figura 11. Satisfacción con el Espacio Público de ciudad. Décima encuesta de percepción ciudadana.	36
Figura 12. Satisfacción con el Espacio Público por ciudad. Décima encuesta de percepción ciudadana.	37
Figura 13. Costo computacional de Dijkstra y Floyd Warshall.....	42
Figura 14. Distribución de la accesibilidad a espacios públicos por caminata.	44

Figura 15. Distribución de la accesibilidad a espacios públicos por Transporte Público..... 47

Figura 16. Distribución de la accesibilidad a espacios públicos por Vehículo Particular. 49

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Diez países con más estudios realizados desde el 2000. Base de datos de Scopus.	19
Tabla 2. Alteraciones frecuentes en personas en condición de discapacidad.	26
Tabla 3. Índice de espacio público por habitante en la ciudad de Bucaramanga, sectorizado en comunas.	30
Tabla 4. Índice de espacio público por habitante en la ciudad de Bucaramanga, sectorizado en comunas.	32
Tabla 5. Rangos de tiempo en minutos para acceder a un espacio público. ECV-2018, DANE..	33

Lista de Apéndices

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS

Apéndice A. Algoritmo de Floyd Warshall

Apéndice B. Tabla de revisión de la literatura

Resumen

Título: Análisis de la accesibilidad a espacios públicos en la ciudad de Bucaramanga desde una perspectiva de desigualdad económica*

Autores. Silvia Camila Vega Villamizar y Sebastián Dueñas Mosquera**

Palabras Clave: Modo de transporte, accesibilidad, Floyd Warshall, grafos, concentración de la pobreza.

Descripción

El espacio público, es un escenario de encuentro social y urbano, a través del cual se conforma, desarrolla y articula la vida (Putman, 2009). Sin embargo, Bucaramanga no cuenta con estudios completos y desagregados que lo evidencien, por ello, este proyecto se realizó una estimación de la accesibilidad a espacios públicos a partir de un análisis basado en niveles de desigualdad económica, empleando la metodología de accesibilidad reciproca. Se consideraron los modos: caminata, transporte público y vehículo particular, con velocidades promedio ajustadas a la configuración espacial, comportamiento de los usuarios frente a la topografía y hora pico en la ciudad. La aplicación de la metodología utilizó tiempos mínimos de acceso para cada par origen-destino con el algoritmo de búsqueda Floyd Warshall. Los resultados muestran que el Sur de la ciudad de Bucaramanga es predominantemente accesible, con menor concentración de pobreza para el año 2021 según el DANE (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2021) en contraste con el Norte que posee una proporción de accesibilidad menor pero mayor concentración de pobreza, por otro lado, las comunas 3 y 4 presentan los niveles más bajos de accesibilidad corroborados por los índices de espacio público $0.5\text{m}^2/\text{hab}$ y $1.9\text{m}^2/\text{hab}$ respectivamente, del Plan Maestro de Espacio Público 2018 (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana, 2018), por ello, resultó fundamental el cruce de información de los índices de espacio público, niveles de accesibilidad y concentración de pobreza a fin de ofrecer un panorama más claro en la calidad de vida de la población.

* Proyecto de grado

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

Abstract

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

Authors. Silvia Camila Vega Villamizar y Sebastián Dueñas Mosquera **

Keywords: Transport modes, accessibility levels, Floyd Warshall, graph, poverty concentration

Description

The public space is a social and urban meeting stage through which life is shaped, develops, and articulates (Putman, 2009). However, Bucaramanga does not have complete and disaggregated studies that show it. Therefore, this project estimated the accessibility to public spaces from an analysis based on economic inequality levels, using the reciprocal accessibility methodology. The modes considered were walking, public transport, and private vehicle, with average speeds adjusted to the spatial configuration, user behavior concerning the topography, and rush hour in the city. The methodology used minimum access times for each origin-destination pair with the Floyd Warshall search algorithm. The results show that the south of Bucaramanga is predominantly accessible, with a lower concentration of poverty for the year 2021, according to DANE (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2021). In contrast to the North, which has a lower accessibility ratio but a higher concentration of poverty otherwise, Communes 3 and 4 present the weakest levels of accessibility corroborated by the public space indexes 0.5m²/hab and 1.9m²/hab, respectively, from the 2018 Public Space Master Plan. Therefore, it was essential to cross-reference information on public space indexes, accessibility levels, and poverty concentration to provide a clearer picture of the population's quality of life (Alcaldia de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana, 2018).

.

* Proyecto de grado

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

Introducción

El espacio público, es un escenario de encuentro, a través del cual se conforma, desarrolla y articula la vida social y urbana (Putman, 2009), aquel, donde la sociedad se hace visible, y en un contexto histórico, se materializa la relación ciudadanía-poder (Linares-García, Hernández-Quirama, & Rojas-Betancur, 2018). En este sentido, la accesibilidad a dichos espacios representa un elemento fundamental en la mejora del bienestar y calidad de vida de la población, en tanto que, las variables incidentes en la accesibilidad condicionan la consciencia de lo público y distorsionan la realidad social en la cual cada individuo posee el derecho del disfrute pleno del espacio público. Todo esto, aunado al crecimiento poblacional y la expansión de la ocupación territorial en las ciudades, han generado segregación en los sectores más aislados a dichos lugares, con lo cual, se crean niveles de accesibilidad de acuerdo con la configuración espacial, siendo el distanciamiento una característica propia de la condición favorable o desfavorable en las oportunidades de acceso.

El análisis de accesibilidad a espacios públicos ofrece una perspectiva de las oportunidades de acceso a través de indicadores, los cuales reflejan las condiciones de inequidad existentes de una determinada zona de estudio, siendo dicho análisis, una componente crucial o quizás una alternativa a considerar, en la toma de decisiones administrativas para la planeación territorial (Garrocho Rangel & Campos Alanís, 2006).

Desde 1959, con la teoría de accesibilidad de Hansen, se ha despertado el interés en diferentes autores alrededor del mundo por establecer diferentes metodologías de estimación y medición de las oportunidades de acceso (Wu & Levinson, 2020), así como establecer qué

variables inciden en la accesibilidad, y cómo estas se correlacionan con la calidad de vida de la población, desde una perspectiva de densidad urbana, atractivos sociales, seguridad, cercanía, tiempos de viajes percibidos entre otros atributos (Genit, 2019), como elementos que favorecen el disfrute voluntario de lo público.

Pese a que este tipo de investigaciones vienen siendo aplicados hace mucho tiempo, en el panorama local no se cuenta con estudios completos y desagregados que evidencien la problemática en términos de condiciones equitativas para el acceso a espacios públicos. Esa falta de investigación y su relación con el apoyo en la planificación de la ciudad se evidencia a diario en las externalidades que genera la configuración desigual de los espacios públicos en la ciudad de Bucaramanga. Configuración que afecta a unos habitantes en mayor proporción que a otros, puesto que las zonas ubicadas en la periferia del sitio de estudio cuentan con mayor desventaja en función del tiempo de viaje. Asimismo, si la configuración establecida no coordina con los entornos caminables, -que en su mayoría son la alternativa de acceso a dichos espacios-, es inminente la generación de niveles de accesibilidad, lo cual sustenta la presencia de inequidad en condiciones de accesos de oportunidades en una perspectiva socioeconómica.

Esta investigación hace énfasis en la cuantificación de la accesibilidad a espacios públicos, basada en tiempos de viaje y distancias recorridas, con información recopilada en las estadísticas de la Décima Encuesta de Percepción Ciudadana del programa Bucaramanga Cómo Vamos (Programa Bucaramanga Metropolitana Cómo Vamos, 2019) y la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV-2018) (Departamento Administrativo de Estadística Nacional - DANE, 2019), esto debido a que en Bucaramanga y su área metropolitana no se cuenta con una encuesta de movilidad actualizada que integre los diferentes modos de transporte e individuos que transitan por la zona de interés con el fin de conocer a detalle dicha información.

La presentación de este documento se encuentra articulada en torno a siete (7) secciones – incluida la actual- y un anexo. Con ello, la segunda sección presenta una definición del concepto de accesibilidad en una perspectiva general y posteriormente orientado a entornos de espacio público, cuyo enfoque se centra en el marco conceptual de las diferentes metodologías que permiten estimar la accesibilidad. En la tercera sección, se presenta un análisis de motores de búsqueda, a través de la revisión bibliográfica de la literatura. La cuarta sección, presenta una caracterización de la ciudad de Bucaramanga, a través de la información ofrecida por las estadísticas del programa Bucaramanga Cómo Vamos y la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV-2018) (Departamento Administrativo de Estadística Nacional - DANE, 2019). La quinta sección, expone la(s) metodología(s) vinculada(s) al estudio de accesibilidad a espacios públicos. En la sexta sección, se presentan los resultados de la investigación y finalmente en la séptima sección se presenta las conclusiones, recomendaciones y futuras investigaciones en función del análisis de la investigación.

1. Accesibilidad

La accesibilidad en esencia ha sido un tema polémico y de gran atracción por parte de los diferentes autores a nivel mundial en las últimas décadas, no obstante, su definición resulta un tanto ambigua, puesto que presenta múltiples variaciones en torno al enfoque de estudio, esto se debe a su origen conceptual abstracto y poco acotado (Alonso, 2007). El concepto europeo de accesibilidad, según el Centro de Referencia Estatal de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas

(CEAPAT), se define en términos del ambiente construido, como la posibilidad de llegar a un determinado ambiente, hacer uso de todo aquello que este ofrece, tratándose de parques, viviendas, edificios, espacios e instalaciones incluidos en dichos entornos (Ministerio de trabajo y asuntos sociales. Instituto de migraciones y servicios sociales & Centro estatal de autonomía personal y ayudas técnicas, 1996). La accesibilidad permite a la población, ser partícipe de las actividades sociales y económicas que ofrece el entorno construido. Sin embargo, participar de las actividades, condiciona la situación a una consideración de acceso de oportunidades, con lo cual, la accesibilidad se traduce en “la facilidad con la que se puede alcanzar un cierto sitio (destino), desde otros puntos en el territorio (orígenes)”, de modo que las oportunidades de interacción origen-destino, forman parte de la problemática incidente en la participación de las actividades económicas y sociales del entorno construido (Goodall, 1987).

No obstante, las oportunidades de acceso se encuentran supeditadas a la planeación eficaz de una ciudad, por ello, se debe correlacionar las estancias ético-políticas, legal/normativa, demográficas y económicas como componentes fundamentales en desarrollo de políticas y planeación de ciudad que orienten una mayor proximidad al aumento de la accesibilidad eliminando barreras físicas (Alonso, 2007). Por otro lado, estas barreras físicas orientan el sentido de la accesibilidad a un enfoque de separación (espacial o temporal), con lo cual Hansen (1959), formuló dicha definición como “el potencial de oportunidades de interacción”, con el objeto de medir la accesibilidad entre determinadas subáreas, cada una con una población definida. En este sentido, la accesibilidad varía en función de la evaluación de accesos de oportunidades en términos de la distancia y costo de viaje (traducido en tiempo), en otras palabras, se define la accesibilidad integral (Obregón Biosca & Sánchez Escobedo, 2016).

1.1 Metodologías de accesibilidad destacadas.

La estimación de la accesibilidad que reporta la literatura comprende un campo de metodologías de gran extensión, debido a las diferentes variables y perspectivas en las cuales se desarrolla su análisis y cuantificación. No obstante, en esta investigación se abarcan las metodologías más destacadas, las cuales engloban parámetros de mayor relevancia en los estudios de accesibilidad en transporte, los cuales pretenden hacer una segmentación de la información para su respectivo análisis de modo que se permita correlacionar la calidad del entorno en términos de las oportunidades de acceso y la configuración socioeconómica de las zonas donde son aplicadas:

1.1.1 Teoría de grafos y separación espacial.

Se trata de la medida de accesibilidad más simple, pues su único parámetro corresponde a la distancia euclidiana, con lo cual se calcula el promedio ponderado de los costos de viaje a todas las demás zonas consideradas, sin embargo, esta medida no contempla el nivel de atracción, además de suponer independencia entre la información y el uso del suelo (Bhat L., y otros).

$$A_i = \frac{\sum_j d_{ij}}{\beta}$$

A_i : Accesibilidad en la zona i.

d_{ij} : Distancia euclidiana entre las zonas i y j.

β : Parámetro de fricción (asociado a los sitios atractores de viajes en función de las condiciones espaciales y topográficas de la zona).

1.1.2 Oportunidades acumulativas.

Corresponde a una medida de accesibilidad sencilla, refiriendo su simplicidad en términos de distancia euclidiana y motivo de viaje, puesto que define un umbral de tiempo o distancia en un viaje y utiliza el número de actividades potenciales dentro de ese umbral como la accesibilidad para esa zona, por lo cual, se utiliza una medida discreta de tiempo o distancia, no obstante, uno de sus limitantes se debe a la omisión de las características de los usuarios, conducta espacial, además de contemplar todas las oportunidades como igualmente accesibles (Garrocho Rangel & Campos Alanís, 2006).

$$A_t = \sum_t O_t$$

At: Accesibilidad según oportunidades acumulativas.

t: Corresponde al umbral (tiempo definido para acceder cualquier espacio público).

Ot: Destino que está dentro del umbral (Área en m² de espacio público al que se pudo acceder con el tiempo umbral).

1.1.3 Medida de gravedad o interacción espacial.

Esta metodología, correlaciona el factor de atracción (oferta) con el de separación (costo, tiempo, distancia...), a través de una medida continua, bajo el supuesto de igualdad condiciones en la población, limitando la medida a la carencia de niveles de accesibilidad entre los individuos de la misma zona.

$$A_i = \sum_j \frac{O_j}{d_{ij}^\beta}$$

At: Indicador de accesibilidad.

β : Fricción del costo de transporte (asociado a los sitios atractores de viajes en función de las condiciones espaciales y topográficas de la zona).

dij: Costo de transporte entre origen destino (tiempo mínimo ponderado para llegar de un origen a un destino).

Oj: Atractividad de la unidad de servicio (Área en m² del espacio público en el destino elegido).

1.1.4 Medida de utilidad.

Esta medida corresponde a la estimación de la accesibilidad basada en la utilidad que percibe un individuo frente a diferentes opciones de viaje (Bhat L., y otros), en otras palabras, se trata del valor esperado de la mayor utilidad en un conjunto de alternativas.

$$A_n = E \left[\max_{j \in C} U_{jn} \right] = \ln \sum_{j \in C} e^{V_{jn}}$$

n: Individuo.

j: Alternativa de destino (destino escogido para visitar).

C: Grupo de destinos (todos los posibles destinos que existen para visitar).

E: Valor esperado.

Unj: Utilidad para la alternativa J (tiempo que invierte para acceder al sitio).

Vnj: Proporción que representa la alterna J (proporción entre el espacio público escogido frente a las demás alternativas de espacio público que existen, se podría definir como un cociente entre estos dos).

1.1.5 Medida espacio temporal.

La medida espacio temporal, contempla la estimación de limitantes en los tiempos que poseen los individuos para llevar a cabo el buen curso de sus actividades, no obstante, dicha metodología requiere de una aproximación en esencia individualizada, lo cual genera dificultad en los análisis de grupos poblacionales, ciudades, entre otros estudios a escala (Garrocho Rangel & Campos Alanís, 2006). Así pues, para el análisis de indicadores de accesibilidad espacio-temporales, resulta indispensable considerar limitantes del orden de acoplamiento (referente a la adaptación del individuo al medio, y el tiempo que invierte en llegar a determinado destino), autoridad (normativas o reglamentaciones que inhiben el desarrollo de la movilidad de los individuos, teniendo en cuenta como movilidad: la ejecución del desplazamiento en función del modo de transporte o de los individuos que lo realizan (Najman, M. , 2021), limitaciones de capacidad (relacionadas con el desempeño humano en términos de actividades básicas y primordiales) (Bhat L., y otros).

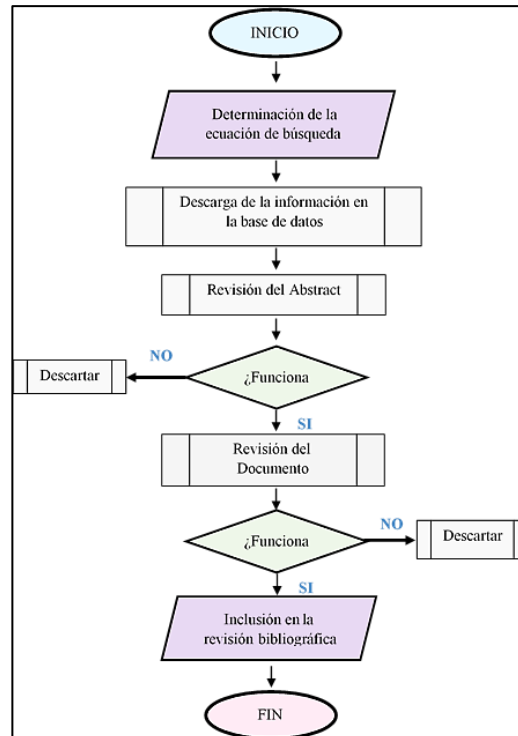
2. Revisión Bibliográfica

En el análisis de la revisión bibliográfica, se dispuso de la recopilación de información de las diferentes bases de datos, priorizando el análisis de los resultados obtenidos en SCOPUS, con lo cual se determinaron ecuaciones de búsqueda, con el objeto de filtrar información con las

palabras clave *accessibility, mobility, transportation, public space*. En la revisión de los resultados se dispuso de un proceso metodológico como el que se muestra en la *Figura 1*

Figura 1.

Diagrama de flujo, proceso metodológico de la revisión bibliográfica.



La revisión bibliográfica a su vez consistió en la caracterización de la documentación de acuerdo con contribuciones a nivel nacional, latinoamericano y europeo, con el objeto de generar un análisis desagregado de la contribución en el estudio de la accesibilidad a espacios públicos.

Para ello, se definieron tres ecuaciones de búsqueda, las cuales restringen el territorio de contribución en el tema de accesibilidad, con el objeto de segmentar la información brindada por SCOPUS, con el fin de obtener gráficas extraídas de análisis bibliométricos elaborados para cada ecuación de búsqueda ajustada a los requerimientos de caracterización de la información.

En dicho análisis se encontraron alrededor de 480 estudios relacionados con temas de accesibilidad a espacio público, para este caso se tuvo en cuenta criterios de igualdad y modo de transporte asociado a espacio público.

La *Tabla 1* presenta los resultados de los países con mayor número de publicaciones en el tema, a partir de la información obtenida con la ecuación (*accessibility AND (mobility OR transportation) AND ("public space" OR greenery)*).

Tabla 1.

Diez países con más estudios realizados desde el 2000. Base de datos de Scopus.

Países/Regiones	Nº de registros
Estados Unidos	28
Brasil	14
China	14
Polonia	9
España	9
Reino Unido	9
Italia	8
Países Bajos	7
Francia	6
Portugal	6

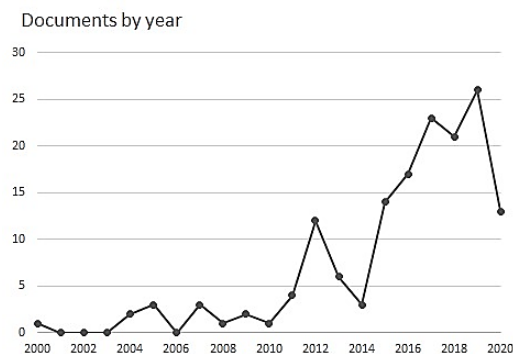
El listado se encuentra encabezado por Estados Unidos quien posee la mayor cantidad de documentos. Asimismo, se puede apreciar a Brasil como el único país de la región Latinoamericana dentro de los diez países con más investigación ocupando la segunda posición con China.

Así pues, Colombia posee un escenario alarmante, debido a sus nulos aportes ajustados a los resultados según la ecuación de búsqueda dispuesta, no obstante, al determinar una segunda y tercera ecuación de búsqueda (cuyo análisis y resultados se pueden apreciar a detalle en los anexos), Colombia se encuentra en el puesto 19 y 26 respectivamente con 2 estudios enfocados en el tema de accesibilidad a espacio público.

La *Figura 2* presenta las publicaciones realizadas desde el año 2000 relacionadas con el tema de accesibilidad a espacio público, asimismo se puede observar en la gráfica suministrada por SCOPUS, que el año con mayor publicación fue el 2019, lo cual evidencia estudio en estos temas se encuentra en aumento, tomando mayor relevancia su discusión no solo a nivel académico sino en la planificación de ciudades.

Figura 2.

Publicaciones realizadas por año, desde el año 2000.



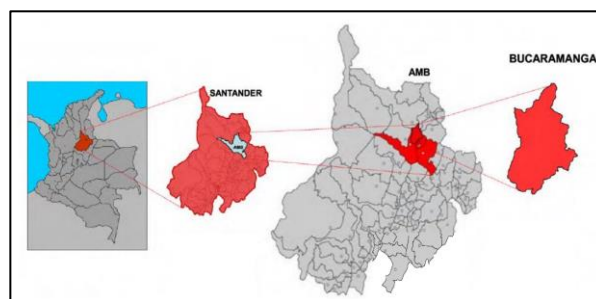
Nota Adaptado de: Scopus.

3. Caracterización de la zona de estudio

El análisis de accesibilidad de esta investigación contempla la ciudad de Bucaramanga como la zona de estudio, en este sentido, su origen data sobre una meseta en el piedemonte de los cerros orientales. Así pues, en lo corrido de su historia y expansión, la ciudad atravesó los límites de la meseta tomado el norte del área hasta el Río Suratá y al occidente englobó los escarpes occidentales, expandiéndose hasta el río de Oro. Por ello, la ciudad se conecta con el norte del país por la vía al mar, y a través de la meseta de Bucaramanga por las comunas 1 y 2, al suroccidente se conecta por la vía Girón al aeropuerto y a Bogotá, y al oriente, por la vía Pamplona, se conecta a Cúcuta y, por ende, a Venezuela (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana, 2018).

Figura 3.

Localización de la ciudad de Bucaramanga.



Nota. Tomado de: Bucaramanga piensa en grande (Suárez Trujillo, 2011).

3.1 Caracterización según su población

La caracterización de la población toma como referencia, información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) recopilada en el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2018), siendo el informe más actualizado para la época. En este sentido, la caracterización se orienta en tres aspectos, género, edad y condición de discapacidad.

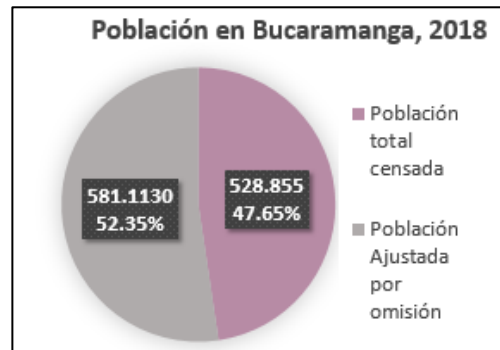
3.1.1 Género

Según información recopilada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística en el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2018), el total de la población censada para la ciudad de Bucaramanga fue 528.855, no obstante, la población incluida por omisión en el censo reúne 581.130 habitantes para el año 2018.

La *Figura 4*, muestra la contribución de información de la población ajustada por omisión, frente a la población censada, con lo cual se aprecia una estimación significativa de ciudadanos que no se encuentran reportados en la información del Censo Nacional de Población y vivienda 2018 (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2018).

Figura 4.

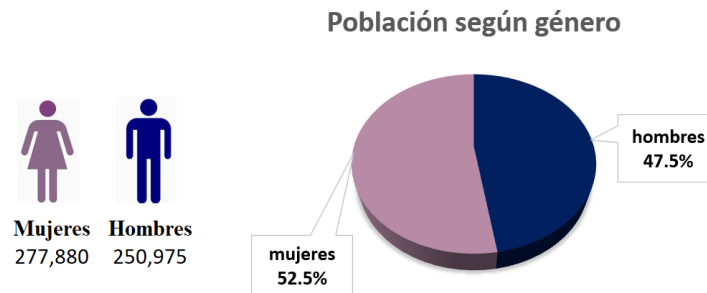
Población según género. Censo Nacional de Población y vivienda, 2018 (DANE).



La *Figura 5*, presenta para Bucaramanga en el año 2018 con información del Censo Nacional de Población y vivienda, el género femenino contribuyó con un 52,5% del total de la población, mientras que el masculino representaba el 47,5% (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2018). Así pues, la información desagregada por género resulta una contribución importante en el análisis de accesibilidad, puesto que es necesario analizar las condiciones a las que se enfrentan hombres y mujeres en la exposición a espacios públicos, en este sentido, dichos espacios deben ser transitables, teniendo en cuenta la transitabilidad como la disposición o características que permiten que un elemento (sea vía, andén, cicloruta) pueda ser recorrida de forma cómoda y segura (Hino, Rech, Gonçalves, & Reis, 2019), especialmente para el caso de las mujeres, quienes infortunadamente se encuentran dentro de una población vulnerable en términos de la adecuación de los espacios y los peligros que estos pueden ofrecer. Por ello, los análisis de accesibilidad por su parte ofrecen una visión general de la problemática de inseguridad en la ciudad y la alternativa de repensarse la configuración de los espacios públicos con los que cuenta la ciudad.

Figura 5.

Población según su género. Censo Nacional de Población y vivienda, 2018 (DANE).

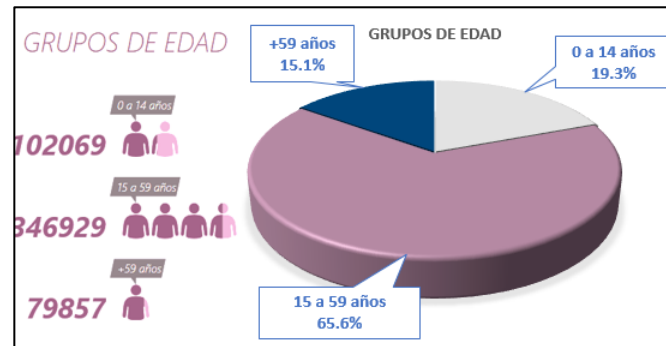


3.1.2 Edad

De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística para el año 2018, la información de la población censada se categoriza en tres grupos, entre 0 y 14 años (con una contribución del 19,3% de la población), entre 15 a 59 años (con una contribución del 65,6%) y mayores a 59 años (el cual representa el 15,1% de la población) (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2018). En este sentido, la *Figura 6*, ofrece información acerca de la población segmentada por rangos de edad y el porcentaje que cada grupo contribuye con el total de los ciudadanos.

Figura 6.

Población según edad. Censo Nacional de Población y vivienda, 2018 (DANE).



La influencia de la edad sobre los niveles de accesibilidad es un parámetro de suma importancia en el desarrollo de la presente investigación puesto que dependiendo de la edad y las condiciones de la topografía de la zona el nivel de accesibilidad para cada grupo poblacional puede verse afectado o beneficiado en una mayor o menor proporción según sea el rango de edad.

3.1.3 Condición de discapacidad

La población en condición de discapacidad presente merece un análisis especial en términos de accesibilidad, puesto que la topografía del terreno, la adecuación del espacio público, el estrato socioeconómico y género, inciden en la actividad de la transitabilidad y las oportunidades de acceso a los espacios públicos. Es así como esta investigación consideró este grupo poblacional en los análisis de accesibilidad presentados, tomando información de las alteraciones frecuentes en personas en condición de discapacidad, con cifras del Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga (Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga, 2020) (ver tabla 2). Según la información recopilada, de la caracterización de la población en condición de discapacidad, para

el año 2020 se cuenta con 25.992 habitantes de la ciudad de Bucaramanga que poseen algún tipo de alteración que reduce de alguna manera sus niveles de transitabilidad puesto que las características del espacio reducen un recorrido cómo y seguro (Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga, 2020).

La *tabla 2*, presenta la mayor concentración de alteraciones que más afecta, en un grupo poblacional con dificultad en el movimiento de manos, brazos, piernas, el cual cuenta con 8.952 personas, seguido de alteraciones en el sistema nervioso con 7.049 personas, los ojos con 2.841 personas, sistema cardiaco y defensas con 1.877 personas, lo oídos con 1.708, la digestión-metabolismo y hormonas 1.608, sistema genital y reproductivo 690, voz y habla 659, piel 280, en blanco (cifras de ciudadanos que no manifiestan una alteración en particular y presentan afectaciones motoras) con 186 personas, mientras que la menor concentración de alteraciones en la población concierne a los demás órganos de los sentidos, con 142 personas, (Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga, 2020).

Tabla 2.

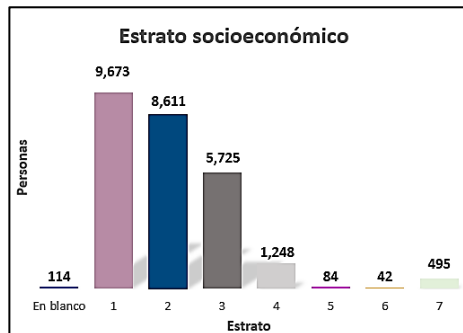
Alteraciones frecuentes en personas en condición de discapacidad.

Tipo de alteraciones	Personas
El movimiento del cuerpo, manos, brazos, piernas	8,952
El sistema nervioso	7,049
Los ojos	2,841
El sistema cardiaco y las defensas	1,877
Los oídos	1,708
La digestión, metabolismo, las hormonas	1,608
Sistema genital y reproductivo	690
La voz y el habla	659

Tipo de alteraciones	Personas
La piel	280
En blanco	186
Los demás órganos de los sentidos	142

Nota: Adaptado de Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga (2020).

Así pues, la reducción o dificultad de la transitabilidad en la población en condición de discapacidad sumada a la estratificación socioeconómica generan una gran influencia en los índices de accesibilidad, puesto que la condición económica suele representar una ventaja o desventaja en los accesos de oportunidades según sea el estrato. Con ello, la *Figura 7*, expone la mayor concentración de personas en condición de discapacidad en los estratos 1 y 2 con 9.673 y 8.611 personas respectivamente, mientras que la menor cantidad de personas con dichas alteraciones se encuentran presentes en los estratos 5 y 6 con 42 y 86 personas respectivamente (Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga, 2020). Estos resultados orientan a cuestionarse sobre las condiciones de inequidad, puesto que las condiciones de discapacidad, la configuración espacial de las zonas de estudio y el bajo poder adquisitivo de la población dificultan la oportunidad de acceder a espacios públicos con o quizás poca regularidad. Por tanto, es necesario repensarse la distribución y configuración de los espacios públicos con el fin de ofrecer mayor cobertura a la comunidad.

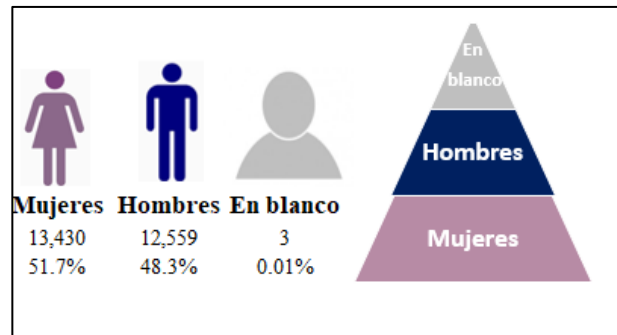
Figura 7.*Estrato socio económico.*

Nota: Adaptado de Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga (2020).

Por otra parte, una configuración desagregada de la información corresponde al sexo, puesto que las condiciones de seguridad de la zona, la adecuación orientada a propiciar una buena transitabilidad, inciden en la facilidad o dificultad con que una persona en condición de discapacidad pueda acceder al espacio público, pues suele presentarse una mayor preocupación por parte del sexo femenino en función de la garantía de su seguridad. Así pues, la *Figura 8*, caracteriza el género de la población en condición de discapacidad, por ende, se cuenta con 12,559 hombres siendo el 48,3% del total del grupo poblacional con afectaciones motoras y el 5% del total de la población masculina en Bucaramanga, mientras que del sexo femenino, 13,430 cuentan con alguna alteración, siendo el 51,7% de la población que poseen alguna condición de discapacidad y el 4,8% del total de las mujeres en Bucaramanga, y finalmente se reportan 3 personas no identificadas con algún género que poseen afectaciones motoras (Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga, 2020).

Figura 8.

Género en la población en condición de discapacidad. Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga.



3.2 Caracterización según su extensión

En el análisis de accesibilidad, la caracterización de la zona de acuerdo con su extensión resulta un factor de gran importancia, puesto que es necesario la definición de espacio público y su extensión en la ciudad de Bucaramanga, con el objeto de medir los niveles de accesibilidad a dichos espacios. Así pues, surge la necesidad de definir qué se entiende como espacio público en esta investigación y qué salvedades presenta.

De acuerdo con el Plan Maestro de Espacio Público 2018 –PMEP–, el espacio público caracteriza y provee identidad a la ciudad, pues en ellos ocurren las principales y más importantes actividades urbanas, sociales, de intercambios económico y cultural, aportando un verdadero valor de ciudad y la conformación de la vida colectiva como máxima expresión social (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,, 2018).

De acuerdo con cifras del PMEP 2018 (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,, 2018), Bucaramanga presenta un índice promedio de 3.62 m²/hab., con lo cual es

clara la presencia de escasez de espacios público en la ciudad, pues según la OMS la cantidad de espacio público recomendado es de $10\text{m}^2/\text{hab.}$ Con lo cual es de suma importancia prestar atención en la relación de la cantidad de habitantes y área de la comuna, con el fin de generar un juicio consecuente con el índice de espacio público. La *Tabla 3*, presenta el índice de espacio público por habitante para las comunas de la ciudad de Bucaramanga, evidenciando una inminente concentración de espacio público en las comunas 9, 17 y 12 en relación con su extensión y cantidad de habitantes, mientras que las comunas 3 (San Francisco) y 4 (Occidental), presentan los índices más bajos de espacio público por habitante.

Tabla 3.

Índice de espacio público por habitante en la ciudad de Bucaramanga, sectorizado en comunas.

Comuna	Espacio público $\text{m}^2/\text{hab.}$	Sector
1	3,4	Norte
2	4,4	Nororiental
3	0,5	San Francisco
4	1,9	Occidental
5	3,0	García Rovira
6	2,8	La Concordia
7	2,5	Ciudadela
8	2,4	Suroriental
9	16,9	La Pedregosa
10	2,5	Provenza
11	2,8	Sur
12	6,1	Cabecera
13	2,3	Oriental
14	3,7	Morrorico

Comuna	Espacio público m ² /hab.	Sector
15	4,9	Centro
16	15,1	Lagos
17	6,0	Mutis

Nota. Tomado de: Alcaldía de Bucaramanga & Universidad Pontificia Bolivariana (2018) Plan Maestro de Espacio Público.

En este sentido, el PMEP 2018, plantea tres indicadores de espacio público, que permiten la configuración de una matriz orientada a la evaluación, comparación y control cualitativo y cuantitativo de programas, proyectos en la ciudad y que permita obtener el índice por habitante sectorizado por comunas (Alcaldia de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,, 2018):

- Generación de espacio público.
- Generación de espacios públicos efectivos.
- Generación de espacios públicos de articulación.

De los cuales, esta investigación hizo énfasis en el indicador de *Generación de espacio público*, el cual resalta el reconocimiento de espacio público como los parques, plazas, plazoletas, zonas deportivas y zonas verdes, no obstante, el enfoque de esta investigación se dio en los parques y zonas verdes, debido a la información de acceso pública que permite desarrollar el objeto de investigación.

Tabla 4.

Índice de espacio público por habitante en la ciudad de Bucaramanga, sectorizado en comunas.

Comuna	Sector	Espacio público m ² /hab.
1	Norte	4.52
2	Nororiental	3.29
3	San Francisco	0.72
4	Occidental	0.55
5	García Rovira	1.30
6	La concordia	1.18
7	Ciudadela	0.96
8	Suroriental	0.33
9	La Pedregosa	0.66
10	Provenza	2.41
11	Sur	0.88
12	Cabecera	1.88
13	Oriental	0.82
14	Morrórico	0.51
15	Centro	2.00
16	Lagos	1.15
17	Mutis	2.41

Si bien es cierto, el análisis cuantitativo del espacio público por habitante resulta relevante en esta investigación, por otro lado, es necesario considerar el tiempo invertido para acceder a dicho lugar. Por ello, con el fin de obtener información para su posterior análisis, la Encuesta de Calidad de Vida, ECV-2018 (Departamento Administrativo de Estadística Nacional - DANE, 2019) coordinada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, en el bloque Condiciones de vida del hogar y tenencia de bienes, en la pregunta P1913S7 contempla: “¿cuánto

tiempo gastaría usted caminando, para llegar a los siguientes servicios o establecimientos más cercanos a la vivienda?: Parques o zonas verdes”; en este sentido, teniendo en cuenta que la información a nivel nacional arroja 89.522 directorios encuestados, con lo cual 3.083 corresponden al departamento de Santander, presentando la siguiente distribución:

Tabla 5.

Rangos de tiempo en minutos para acceder a un espacio público. ECV-2018, DANE.

Rango [minutos]	Cantidad	Porcentaje
0 - 5	1185	38.4%
5 - 10	434	14.0%
10 - 15	214	6.9%
15 - 20	138	4.5%
20 - 25	20	0.7%
25 - 30	119	3.9%
30 - 45	67	2.2%
45 - 60	191	6.2%
+60	614	19.9%
Atípicos	101	3.3%
Total	3083	100.00%

La *Tabla 4*, presenta los intervalos de tiempo invertidos por la comunidad encuestada, para acceder a espacios públicos. De los 3.083 encuestados a nivel de Santander según respuestas obtenidas de la ECV-2018 (Departamento Administrativo de Estadística Nacional - DANE, 2019), alrededor de 101 encuestados invierten 999 minutos para acceder a parques o zonas verdes a través de caminata, por ende, aquellos datos fueron considerados como atípicos dado que de alguna forma representa la ausencia de una conexión directa entre la población y dichos espacios. Así pues, la

Figura 9, presenta la distribución porcentual del tiempo invertido para acceder a espacios públicos para el departamento de Santander, con lo cual se aprecia una mayor concentración en acceso tiempos entre 0 a 5 minutos. Con ello, esta investigación pretende llegar a la respuesta que valide o refute las presentes cifras.

Figura 9.

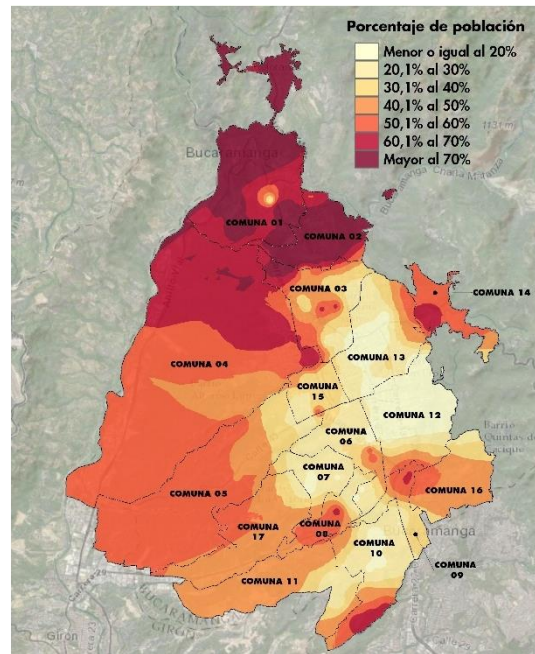
Satisfacción con el Espacio Público de ciudad. Décima encuesta de percepción ciudadana.



Por otro lado, resulta importante tener en cuenta la incidencia de la concentración de la pobreza en Bucaramanga sobre los niveles de accesibilidad.

Figura 10.

Distribución espacial de la población en condición de pobreza según ingresos de la cabecera municipal 2021.



Nota. Tomado de: DANE

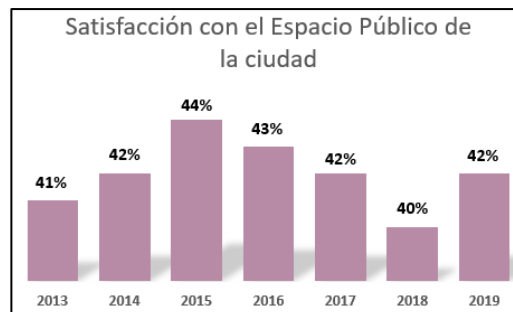
La *Figura 10* muestra la distribución espacial de la población en condición de pobreza según ingresos de la cabecera municipal para el año 2021 a partir de estudios del DANE, donde las comunas 1, 2 y parte de la comuna 4 presentan los mayores índices de pobreza, mientras que las comunas 6, 7, 10, 12, 13 y 15 poseen los menores porcentajes.

4. Metodología

La Décima Encuesta de Percepción Ciudadana del programa Bucaramanga Cómo Vamos 2019 (Programa Bucaramanga Metropolitana Cómo Vamos, 2019), expone el nivel de satisfacción de los ciudadanos en relación con el espacio público que ofrece cada municipio del área metropolitana de Bucaramanga. La *Figura 11*, muestra que entre los años 2013 a 2015 se produce un aumento en la satisfacción de la ciudadanía, mientras que entre los años 2016 a 2018 ocurre el efecto contrario, pese a ello, estas variaciones son poco apreciables, no obstante, se evidencia un nivel de satisfacción por debajo del 50%.

Figura 11.

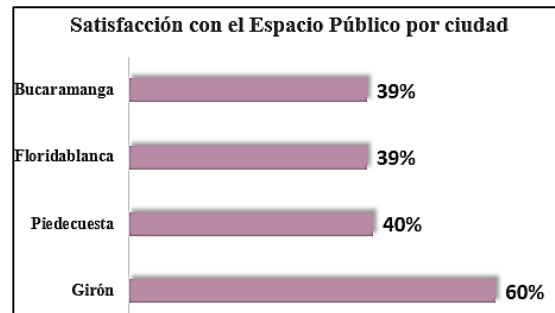
Satisfacción con el Espacio Público de ciudad. Décima encuesta de percepción ciudadana.



Aún más alarmante resulta el caso del nivel de satisfacción con el espacio público en la ciudad de Bucaramanga. La Décima Encuesta de Percepción Ciudadana presenta de manera desagregada los porcentajes para cada ciudad. La *Figura 12*, muestra a Bucaramanga y Floridablanca como las ciudades con menor nivel de satisfacción en relación con el espacio público que poseen.

Figura 12.

Satisfacción con el Espacio Público por ciudad. Décima encuesta de percepción ciudadana.



Por ello, el análisis de la accesibilidad surge de la necesidad de establecer como enfoque de investigación, el espacio público, contemplando, caminata, vehículos particulares y transporte público como modos de transporte. El presente estudio, se desarrolló bajo dos metodologías de accesibilidad -recíproca y exponencial negativa-, ajustadas a la información disponible en el Shape de parques proporcionado por el grupo Geomática de la Universidad Industrial de Santander y su respectiva actualización a cargo de los autores del presente artículo, tomando como referencia el listado más reciente de dominio público de parques con sus respectivas áreas, disponible en la página web de la alcaldía de Bucaramanga. Una vez efectuado los cálculos, este estudio descartó el análisis de la accesibilidad exponencial negativa puesto que los resultados no son representativos y proporcionales con relación a la metodología de accesibilidad recíproca.

4.1 Accesibilidad Recíproca

$$A_i = \sum_j \frac{o_j}{d_{ij}^\beta}$$

A_i =Accesibilidad en un destino definido.

O_j = Importancia (Área en m^2 del espacio público en el destino elegido).

t_{ij} = Impedancia (tiempo mínimo ponderado para llegar de un origen a un destino).

β = Parámetro de fricción (asociado a los sitios atractores de viajes en función de las condiciones espaciales y topográficas de la zona).

4.2 Accesibilidad Exponencial Negativa

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

A_i = Accesibilidad en un destino definido.

O_j = Importancia (Área en m^2 del espacio público en el destino elegido).

t_{ij} = Impedancia (tiempo mínimo ponderado para llegar de un origen a un destino).

β = Parámetro de fricción (asociado a los sitios atractores de viajes en función de las condiciones espaciales y topográficas de la zona).

4.3 Parámetros para el cálculo de accesibilidad

Los parámetros que intervienen en el cálculo de la accesibilidad se encuentran estrechamente condicionados por los objetivos de la presente investigación y los modos disponibles en la ciudad de estudio. Por ello se tomó para el análisis los modos: caminata, vehículo particular, transporte público -buses convencionales y SITM Metrolínea. El análisis realizado se discretizó a partir de una grilla con el objeto de aportar mayor precisión y se incluye la influencia del comportamiento de los usuarios frente a la forma espacial de la ciudad, -si esta se trata de una ciudad alargada o redondeada- (Cavadía Ibañez & Pérez Rengifo, 2020).

Modos de transporte

El presente estudio, analiza los modos de transporte representativos en la ciudad de Bucaramanga, para lo cual, se tuvo en cuenta el transporte público, vehículos particulares y caminata.

Discretización del espacio

Con el objeto de representar un análisis con mayor detalle en el software de geolocalización QGis (GNU General Public License, s.f.), se discretizó el área de estudio en particiones de 200x200 obteniendo de esta forma una grilla de 63x41 (2,583 destinos), puesto que los m² de parques presentes en el shape, se ajustaban con mayor precisión en comparación con recientes estudios en la línea de la accesibilidad para Bucaramanga y su AM, (Cavadía Ibañez & Pérez Rengifo, 2020) (Arciniegas Caballero & Blanco Porras, s.f.)

Factor de fricción

El parámetro de fricción de la distancia el cual procede del comportamiento espacial de los usuarios, se estima de forma empírica mediante el análisis de datos de servicio, por lo que sintetiza la sensibilidad de los usuarios ante cambios en el costo de transporte (Garrocho Rangel & Campos Alanís, 2006), para este estudio se decidió tomar el valor de 1.0, como continuación de las investigaciones en la línea de accesibilidad, contemplando la ciudad de Bucaramanga con una configuración espacial alargada (Cavadía Ibañez & Pérez Rengifo, 2020) (Arciniegas Caballero & Blanco Porras, s.f.).

4.3.1 Análisis de tiempos para el cálculo de accesibilidad

El análisis de la accesibilidad implementado requirió de los tiempos de recorrido por modo de transporte sobre cada cuadrícula de la grilla. En este sentido, una forma indirecta de obtener dichos tiempos refiere a la velocidad promedio asumida para cada modo de transporte, donde se considera una suposición de uniformidad de la velocidad en todas las zonas, debido a la practicidad de la asunción y la ausencia de información de dominio público. Por ende, se suministró velocidades promedio en metros/minutos para cada modo de transporte, con las cuales, a través de la relación de velocidad como el cociente entre la distancia y el tiempo, disponiendo de velocidad y distancia asociada a la cuadrícula de la grilla, se hallaron los tiempos correspondientes.

Caminata

Puesto que el tránsito peatonal se encuentra afectado por condiciones topográficas, poblacionales y espaciales (tamaño de la zona transitable), la velocidad promedio dispuesta para este modo de transporte se consideró como 5.4km/h (1.5m/s) (Cavadía Ibañez & Pérez Rengifo, 2020) (Arciniegas Caballero & Blanco Porras, s.f.).

Transporte público

El transporte público cuenta con dos escenarios que inciden en la suposición de velocidad promedio; para el caso de la ciudad de Bucaramanga, se cuenta con carriles exclusivos de Metrolínea, por ende las velocidades promedio son mayores en comparación con los vehículos de transporte público que no cuentan con dicho beneficio; es por ello que, se contemplaron valores de 416.67 m/min(25km/h) para vehículos que transitan por el carril exclusivo, mientras que para los demás se asignaron 300m/min (18km/h), de acuerdo a la información disponible por parte del

Departamento de Transito y Metrolínea (González-Jiménez, Hernández-Moreno, & Rueda-Sosa, 2016) (DNP, s.f.)

Vehículo particular

Un vehículo particular cuenta con la ventaja de tomar atajos, minimizar las paradas frecuentes, por lo que su velocidad promedio ostenta ser mayor en comparación con el transporte público, de acuerdo con la Dirección de Tránsito de Bucaramanga en sus reportes de accidentalidad, se asumió una velocidad promedio de 500m/min (30km/h) (Dirección de Tránsito Bucaramanga - DTB, 2017)

4.3.2 Análisis de tiempos mínimos ponderados del recorrido

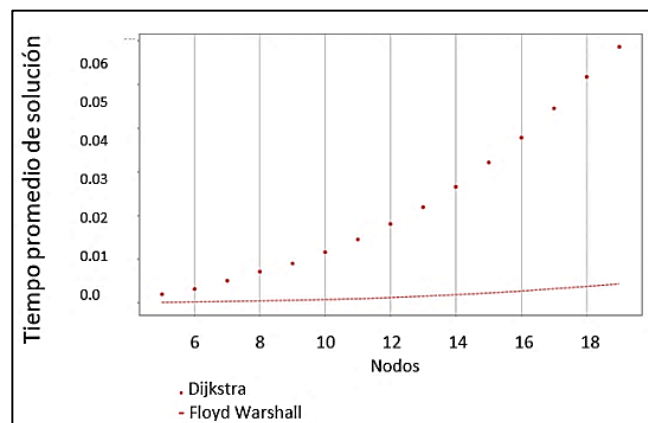
Las metodologías empleadas en la investigación utilizaron como punto de partida una matriz de tiempos mínimos acumulados requeridos en la trayectoria de un par origen-destino, por ende, resultaba fundamental efectuar un análisis de tiempos y distancias recorridas que permitan atravesar la grilla a partir de un algoritmo de búsqueda que ofrezca los pesos mínimos ponderados.

El peso mínimo de una arista puede representar el tiempo, distancia o el coste de atravesar de un vértice a su adyacente (Hern, 2016). El recorrido mínimo de un grafo se determina a partir de algoritmos de búsqueda entre los cuales se encuentran Dijkstra, Bellman-Ford, Johnson, Suurballe entre otros, no obstante, se encuentran limitados a grafos dirigidos o la determinación de la distancia entre algunos vértices, mientras que el algoritmo de Floyd-Warshall determina los pesos mínimos ponderados de las rutas de un grafo compuesto por arcos dirigidos, no dirigidos o mixtos, con pesos positivos (Luis, Restrepo, & Fernando, 2011). Esta investigación indagó sobre la comparativa del coste computacional entre Floyd Warshall y Dijkstra con el objeto de emplear

el algoritmo más eficaz, la *Figura13* muestra la convergencia entre ambos métodos, donde se observa que el algoritmo de Dijkstra posee un acelerado crecimiento en el coste computacional conforme aumentan los nodos en el grafo comparado con Warshall (De Leon, 2018) debido a que el primero calcula el costo de ir de un vértice origen a un vértice destino a partir de la construcción de una matriz de distancia mínima (Hern, 2016), mientras que el segundo lo hace a partir de iteraciones sobre una matriz inicial.

Figura 13.

Costo computacional de Dijkstra y Floyd Warshall.



Nota. Tomado de. (De Leon, 2018)

4.3.3 Floyd Warshall

El algoritmo de Floyd Warshall, se basa en interacciones sobre una matriz inicial, la cual se construye a partir de la matriz de adyacencia o incidencia del grafo, sobre dicha matriz se realiza un numero de iteraciones igual al número de nodos del grafo, como resultado arroja una matriz de

valores de ruta, la cual almacena en la intersección correspondiente entre el nodo de origen y el nodo destino, el valor de la ruta mínima entre ellos (Luis, Restrepo, & Fernando, 2011).

5. Resultados

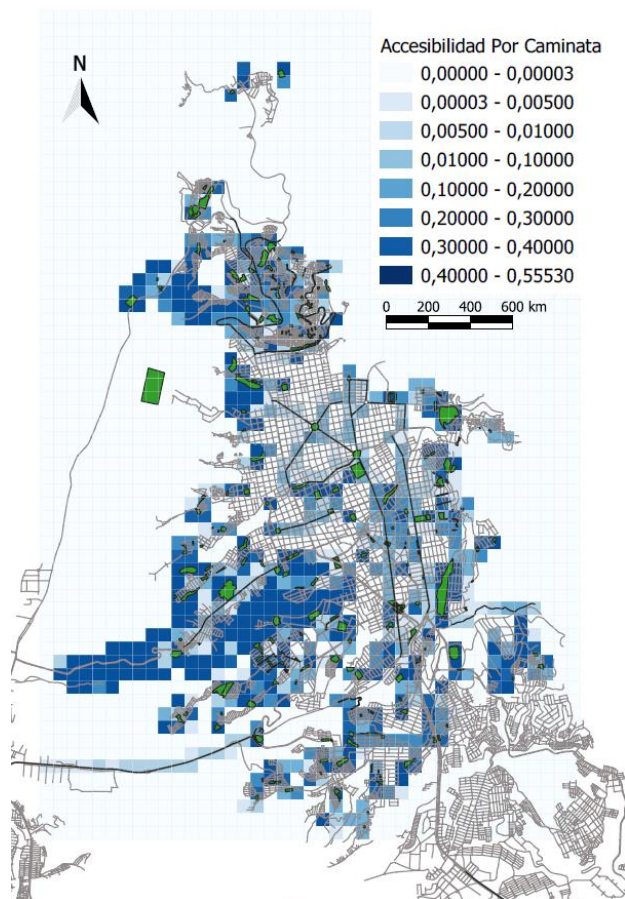
Esta sección presenta los resultados de accesibilidad obtenidos teniendo en cuenta los modos de transporte propuestos en los objetivos de la investigación. Para los cálculos de accesibilidad a espacios públicos se emplearon las metodologías de accesibilidad recíproca y exponencial negativa, donde los resultados de esta última se consideraron poco representativos e incongruentes debido a la premisa de la configuración espacial *alargada* de la ciudad, por ende, el análisis efectuado se focaliza en la metodología de accesibilidad recíproca. Por lo tanto, una vez asignadas las velocidades promedio por modo de transporte sobre cada cuadrícula, se procedió con el cálculo del tiempo asociado a dichas velocidades en el software de geolocalización espacial QGis (GNU General Public License, s.f.) y a partir del tratamiento de los tiempos almacenados en el grid se realizó un código en el lenguaje de programación Python (Python, s.f.) (*Ver Anexo1*), con el fin de obtener la matriz de adyacencia y posteriormente emplear el algoritmo de búsqueda Floyd Warshall con el cual se obtuvieron los tiempos mínimos de un par origen-destino condensado en una matriz origen-destino (OD). Finalmente, con la matriz OD se determinaron los tiempos mínimos para acceder a un origen desde cualquier destino con el propósito posterior de calcular la accesibilidad por cada modo de transporte.

Accesibilidad a espacios público por caminata

La accesibilidad a espacios públicos por caminata se calculó en función del tiempo asociado a la velocidad promedio estimada según las condiciones topográficas, poblacionales y espaciales de la ciudad de Bucaramanga. En este sentido, se asignó una velocidad promedio de 1.5m/s con la cual se calculó el tiempo de caminata sobre la cuadrícula de 200x200m, obteniendo un tiempo de 2.22 minutos por celda.

Figura 14.

Distribución de la accesibilidad a espacios públicos por caminata.



La *Figura 14* muestra la distribución de los espacios públicos que son alcanzados por caminata en la ciudad de Bucaramanga, donde se observa mayores oportunidades de acceso en la zona Sur de la ciudad, siendo consecuente con la información proporcionada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE en sus recientes estudios para julio de 2021 (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2021), en el cual las comunas al sur de la ciudad presentan los menores porcentajes de población en condición de pobreza según sus ingresos (*ver Figura 10*). Del mismo modo, los resultados son coherentes con el índice de espacio público por habitante de acuerdo con información del Plan Maestro de espacio público 2018, donde se observa que las comunas 9, 12, 16 y 17 gozan de mayor índice (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,, 2018) (*ver Tabla 3*). Asimismo, de acuerdo con la *Figura 14* es posible observar un bajo nivel de accesibilidad para las comunas 3 y 4, siendo consecuente con las cifras del Plan Maestro de espacio público 2018 ($0.5\text{m}^2/\text{hab}$ y $1.9\text{m}^2/\text{hab}$ respectivamente) (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,, 2018) y la concentración de la población en condición de pobreza analizado por el DANE en Julio de 2021.

Por otro lado, se observa en la distribución de accesos de la *Figura 14* que las comunas 1 y 2 presentan altos niveles de accesibilidad sin embargo son aquellas en las que existen mayor concentración de pobreza (superior al 60%) y valores intermedios de los índices de espacio público por habitante ($3.4\text{m}^2/\text{hab}$ y $4.4\text{m}^2/\text{hab}$ respectivamente) (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,, 2018), con lo cual, resulta importante considerar si la accesibilidad a dichos espacios son un atractivo de calidad para la población o por el contrario se trata de zonas verdes poco acondicionadas para la recreación, puesto que durante la investigación de los parques y zonas verdes contemplados por la Alcaldía de Bucaramanga en su página web y en colaboración con Google Earth, se observó que gran parte de los espacios públicos en las comunas 1 y 2, se trata

de zonas verdes no acondicionadas para la recreación comparada con aquellas que fueron pensadas para dicho uso.

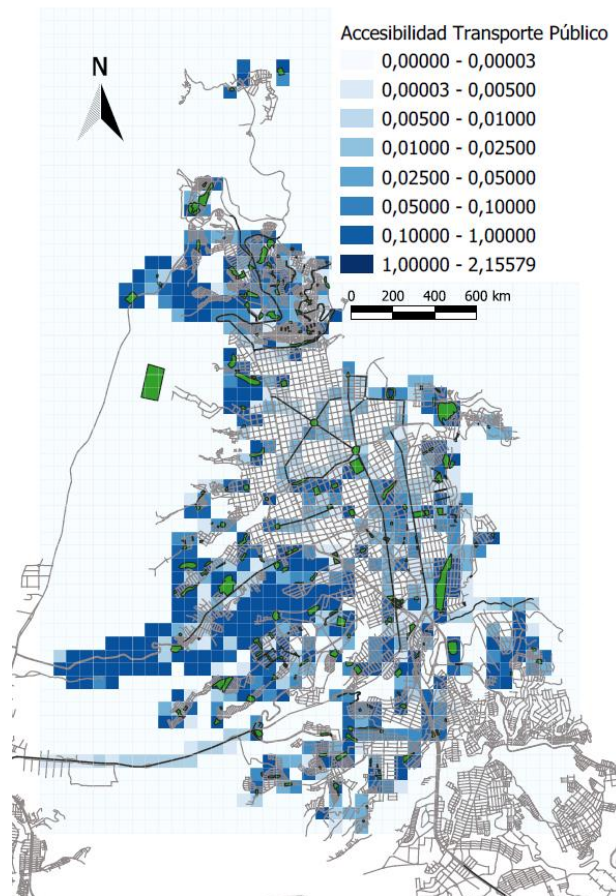
Por ello, al hacer la superposición de capas de accesibilidad con la de pobreza espacial se encuentra una relación directa entre la concentración de la pobreza y la oportunidad de accesos a espacios públicos de calidad acondicionados para el disfrute de la comunidad.

Accesibilidad a espacios público por transporte público

La accesibilidad a espacios públicos por Transporte Público, se calculó en función del tiempo asociado a la velocidad promedio estimada según la disponibilidad de carril exclusivo para el SITM Metrolínea con un valor de 25km/h, mientras que para el transporte público que no tiene uso del carril exclusivo una velocidad de 18km/h, con la cual se calculó el tiempo de transporte sobre la cuadrícula de 200x200m, obteniendo tiempos de 0.480 minutos para Metrolínea y 0.6667 minutos para bus convencional.

Figura 15.

Distribución de la accesibilidad a espacios públicos por Transporte Público.



La *Figura 15* muestra la distribución de los espacios públicos a los que se puede acceder a través del Transporte Público en la ciudad de Bucaramanga. Los resultados muestran mayores oportunidades de acceso en la zona Sur de la ciudad, siendo congruente con la información proporcionada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE en sus recientes estudios para el año 2021 (*ver Figura 10*) y las cifras del Plan Maestro de Espacio Público 2018 (*ver Tabla3*), obteniendo resultados similares a la caminata como modo de transporte, siendo las comunas 9, 12, 16 y 17 las más privilegiadas mientras que las comunas 3 y 4 son aquellas en las que los niveles de accesibilidad son los menores en la ciudad debido al bajo índice de espacio

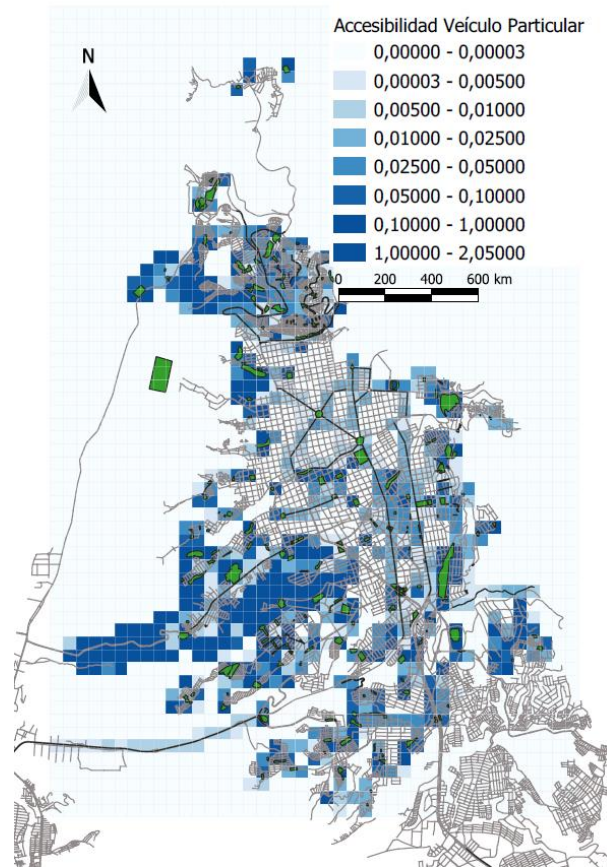
público por habitante. Del mismo modo, las comunas 1 y 2 poseen altos niveles de accesibilidad siendo contradictorio con la concentración de la pobreza en la ciudad, no obstante, la consideración de espacio público en esta investigación se enfocó principalmente en el área de parques y zonas verdes públicas, donde estas últimas no son una garantía plena del disfrute de los espacios por parte de la comunidad tal y como se observó en el caso de accesibilidad por caminata.

Accesibilidad a espacios público por vehículo particular

La accesibilidad a espacios públicos por vehículo particular se calculó en función del tiempo asociado a la velocidad promedio estimada en horas pico en la ciudad, ya que representa una condición crítica. Se asignó una velocidad promedio de 30km/h obteniendo un tiempo de 0.40 minutos sobre la cuadrícula de 200x200m.

Figura 16.

Distribución de la accesibilidad a espacios públicos por Vehículo Particular.



La Figura 16 muestra la distribución de los espacios públicos alcanzados por vehículo particular como modo de transporte en Bucaramanga, donde se observa mayores oportunidades de acceso en la zona Sur al igual que en la accesibilidad por caminata y Transporte Público en la ciudad, siendo congruente con la información proporcionada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE en sus recientes estudios para el año 2021 (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2021) (ver Figura10) y las cifras del Plan Maestro de Espacio Público 2018 (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,, 2018) (ver Tabla3).

Por otro lado, el centro de la ciudad carece de acceso a espacios públicos debido a la ausencia de estos, esto se debe a que la zona concentra su uso en el comercio, mientras que la zona Norte y Sur son más reconocidas por su uso residencial. En este sentido, las comunas 9, 12, 16 y 17 poseen los mayores valores de accesibilidad mientras que las comunas 3 y 4 poseen los índices más bajos de accesibilidad y las comunas 1 y 2 a pesar de poseer altos niveles de accesibilidad, esta investigación no garantiza la calidad de los espacios que existe en dichas comunas de acuerdo a la indagación de estos en la herramienta Google Earth.

6. Conclusiones

Las metodologías de accesibilidad investigadas en este estudio permiten un hacer un análisis espacial a partir de la estimación de tiempos mínimos de recorrido de un par origen-destino teniendo en consideración la configuración espacial de la ciudad y su importancia a partir del factor de fricción y el área de espacios públicos respectivamente. El presente estudio efectuó un análisis de la literatura conformado por el proceso metodológico expuesto en la *Figura 1*, con el cual, a partir de un análisis ajustado a las condiciones espaciales de la ciudad, se aplicó la metodología de accesibilidad recíproca, con el fin de emplear dichos resultados como argumento en la relación de los niveles de accesibilidad y la concentración de la pobreza en la ciudad.

De acuerdo con la información del Plan Maestro de Espacios Públicos 2018, la *Tabla 3* expone a las comunas 3 y 4 como aquellas con los menores índices de espacio público por habitante ($0.5\text{m}^2/\text{hab}$ y $1.9\text{m}^2/\text{hab}$ respectivamente) (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia

Bolivariana,, 2018), ofreciendo un panorama preocupante para la calidad de vida de la comunidad, por otro lado, las cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística para el mes de Julio de 2021, evidencian que las comunas 3 y 4 poseen una concentración de la pobreza entre el 30% y 70% (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2021) (*ver Figura10*), con lo cual se infiere que la calidad de vida de la comunidad se encuentra en una condición desfavorable comparado con las comunas 9 y 16 que poseen índices de espacio público por habitante de 16.9 m²/hab y 15.1m²/hab respectivamente (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,, 2018) y un porcentaje de concentración de pobreza entre el 30% y 60%, seguido de las comunas 12 y 17 cuyos índices son 6.1m²/hab y 6.0m²/hab respectivamente (Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,, 2018) con una concentración de pobreza entre 20% y 50%.

Por otra parte, esta investigación estimó el índice de espacio público por habitante únicamente con la apreciación de parques y zonas verdes contempladas por la Alcaldía de Bucaramanga, donde las comunas 3 y 4 siguen presentando índices desfavorables en contraste con las comunas 1 y 2 que presentaron las mayores proporciones (*ver Tabla4*), sin que esto indique que una mayor proporción de espacio público represente espacios de calidad para el disfrute de la población. En este sentido, resulta importante tener en cuenta los factores que influyen en la disposición de estos espacios, puesto que comunas en condiciones socioeconómicas semejantes divergen considerablemente en la oportunidad de acceso a dichos espacios.

De acuerdo con las *Figuras 14, 15 y 16*, el cálculo de accesibilidad a espacios públicos por modo de transporte para la ciudad de Bucaramanga presenta una proporción predominantemente alta al Sur de la ciudad en contraste con la zona Norte para los modos de transporte propuestos en la investigación. Por otro lado, la distribución de sombras muestra para las comunas 3 y 4 una baja

proporción de accesibilidad por caminata, vehículo particular y Transporte público como modos de transporte.

Según estudios efectuados por el DANE para julio de 2021 (*ver Figura 10*) la mayor concentración de pobreza se localiza en la zona Norte (Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE), 2021), no obstante, de acuerdo con el análisis de accesibilidad por modo de transporte (*ver Figuras 14, 15 y 16*) esta zona presenta altos niveles de accesibilidad, debido a la magnitud de espacios públicos considerados por la Alcaldía de Bucaramanga en su página web, no obstante, durante la investigación se observó una gran proporción de zonas verdes en andenes o zonas no acondicionadas para la recreación de la comunidad como espacio público, en este sentido, para el Norte de la ciudad, los altos niveles de accesibilidad no son una garantía de calidad de vida en función de la disposición de espacios.

Resulta importante destacar las dificultades que surgieron para contar con una base de datos espacial, completa, actualizada y de libre acceso a nivel de Bucaramanga, con lo cual es clara la incidencia de estas limitantes sobre los resultados de la presente investigación, pues la información sobre espacios públicos que existe se encuentra desactualizada. Por otra parte, pese a las dificultades cabe mencionar la importancia de los estudios de accesibilidad en la ciudad, pues permiten hacer análisis mediante el cruce de variables socioeconómicas de la población con el objeto de ofrecer un panorama más acertado de la calidad de vida de la comunidad en las diferentes comunas de la ciudad, del mismo modo, otorga la oportunidad de desarrollar una línea de investigación con el fin de hacer un llamado a las autoridades locales a la consideración de estos referentes, en la configuración los espacios y condiciones de acceso en la ciudad, permitiendo generar planes que involucren los diferentes actores de la movilidad, ofreciendo estrategias efectivas, integrales y equitativas.

La presente investigación hace parte de un estudio más amplio de accesibilidad, conformado por un total de tres investigaciones, donde se buscó la estimación de la accesibilidad por modo de transporte y motivo de viaje para la ciudad de Bucaramanga y su Área Metropolitana desde una perspectiva de la estratificación económica (Cavadía Ibañez & Pérez Rengifo, 2020) y un análisis de la accesibilidad al transporte público orientado al análisis de la desigualdad económica (Arciniegas Caballero & Blanco Porras, s.f.), con el objeto integrar las diferentes investigaciones para efectuar un análisis de los niveles de accesibilidad a partir de diferentes modos y sitios atractores de viajes en la ciudad.

7. Investigaciones futuras

Esta investigación se limitó al análisis de la accesibilidad en función de las rutas y espacios públicos existentes en la ciudad, por tanto, resulta importante analizar el estado en el que se encuentran dichos espacios teniendo en cuenta el estrato económico en el que se localizan, con el fin de ofrecer una investigación exhaustiva con miras a la desigualdad en la oportunidad de accesos.

Por otra parte, la precisión de los resultados varían de acuerdo con la discretización del área de estudio, por ello, resulta necesario indagar sobre los factores incidentes en el tamaño de las particiones de la grilla, a fin de proponer una partición que se ajuste a la configuración espacial de la zona de estudio y ofrezca resultados con mayor detalle, sin embargo, el análisis de la accesibilidad trabaja en conjunto con la disponibilidad de la información de dominio público, por

tal motivo es importante contar con una base de datos actualizada y elaborada con herramientas efectivas en software de geolocalización que permitan observar una percepción más representativa de los espacios estudiados.

Asimismo, se sugiere profundizar esta investigación a través un análisis orientado a los tiempos de recorrido de acuerdo a la edad, condiciones económicas, velocidad variable a lo largo del día, estados de las vías y andenes, con el objeto de integrar los diferentes factores incidentes en los resultados obtenidos, para ello, se espera contar con una encuesta de movilidad completa, actualizada y de dominio público que contribuya con investigaciones futuras.

Por otra parte, se espera que los resultados de esta investigación y estudios futuros se puedan incorporar en Planes de movilidad y a su vez se encuentren bajo la supervisión y apoyo de la Oficina de Espacio Público de Bucaramanga, y de esta forma se pueda dar un real avance en procesos de intervención del espacio público, intervenciones establecidas en función de las zonas categorizadas como prioritarias según las condiciones socioeconómicas y el estado actual de dichos espacios. Es por ello, que aquellos espacios públicos de gran prioridad corresponden a aquellos con menor índice de accesibilidad obtenido en esta investigación y según los resultados se encuentran ubicados en las comunas 1, 2, 3 y 4. Por lo tanto, esta investigación sugiere efectuar un análisis más detallado de las oportunidades de acceso, el estado actual de los parques y zonas verdes para las comunas 1,2,3 y 4.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Bucaramanga y Universidad Pontificia Bolivariana,. (2018). *Plan Maestro de Espacio Público de Bucaramanga - 01 Síntesis del Plan Maestro de Espacio Público de Bucaramanga*.
- Alonso, F. (2007). Algo más que suprimir barreras: conceptos y argumentos para una accesibilidad universal. *TRANS Rev. traductología*, vol. 2, 15–30. Obtenido de http://www.trans.uma.es/pdf/Trans_11/T.15-30.FernandoAlonso.pdf%5Cnhttp://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2306616
- Arciniegas Caballero, M. J., & Blanco Porras, R. (s.f.). *Análisis de la accesibilidad al transporte público en la ciudad de bucaramanga desde una perspectiva de desigualdad socioeconómica*.
- Bhat L., C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., & Weston. (s.f.). Development urban accesibility index: literature review. 2003.
- Cavadía Ibañez, P. J., & Pérez Rengifo, M. J. (2020). Estimación de la accesibilidad por modo de transporte y motivo de viaje para la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana desde una perspectiva de la estratificación socioeconómica,. *vol. 2017, no. 1*, 1-9.
- De Leon, A. V. (2018). *Igoritmos de Dijkstra y Floyd-Warshall en Python 3.5*. Obtenido de <http://micaminomaster.com.co/grafos-algoritmo/algoritmos-dijkstra-floyd-warshall-python-3-5/>
- Departamento Administrativo de Estadística Nacional - DANE. (2019). *Ficha Metodológica Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2018*.

- Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE). (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Obtenido de <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#!/>.
- Departamento administrativo nacional de Estadística (DANE). (2021). *Pobreza monetaria y pobreza monetaria extrema*.
- Dirección de Tránsito Bucaramanga - DTB. (2017). “*Estructuración de medidas para el mejoramiento de la movilidad en Bucaramanga*,” *Gob. los ciudadanos*.
- DNP. (s.f.). *DNP advierte que se avecina colapso de movilidad en las principales capitales*. Obtenido de [https://www.dnp.gov.co/Paginas/DNP advierte que se avecina colapso de movilidad en las principales capitales.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/DNP%20advierte%20que%20se%20avecina%20colapso%20de%20movilidad%20en%20las%20principales%20capitales.aspx)
- Garrocho Rangel, C. F., & Campos Alanís, J. (2006). Un indicador de accesibilidad a unidades de servicios clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación. *Econ. Soc. y Territ.*, doi: 10.22136/est002006262.
- Genit, I. V. (2019). “El entorno caminable como co-modalidad para el transporte público: el caso de Quito = The walkability as a function of co-modality to public transportation. 69–86 doi: 10.20868/tf.20.
- GNU General Public License. (s.f.). *QGIS*.
- González-Jiménez, S. A., Hernández-Moreno, C. J., & Rueda-Sosa, D. E. (2016). “Análisis preliminar de un servicio expreso derivado de la ruta P8 del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea en Bucaramanga. *Ing. USBMed*, vol. 7, no. 2, 74–88.
- Goodall, B. (1987). *The Penguin Dictionary of Human Geography*. London.
- Hern, R. (2016). *Algoritmos para la determinación del circuito de menor longitud en un grafo*. Trab. fin grado.

- Hino, A. A., Rech, C. R., Gonçalves, P. B., & Reis, R. S. (2019). Acessibilidade a espaços públicos de lazer e atividade física em adultos de Curitiba, Paraná, Brasil. *Cad. Saude Publica*, vol. 35, no. 12, p. e00020719, , doi: 10.1590/0102-311X00020719.
- Linares-García, J., Hernández-Quirama, A., & Rojas-Betancur, H. M. (2018). Accesibilidad espacial e inclusión social. *Civilizar*, vol. 18, no. 35, 115–128 doi: 10.22518/usergioa/jour/ccsh/2018.2/a09.
- Luis, P., Restrepo, A., & Fernando, L. S. (2011). A Computational Method To Obtain Optimal Paths in Road Networks. *Vol. 78*, 112–121.
- Ministerio de trabajo y asuntos sociales. Instituto de migraciones y servicios sociales and Centro estatal de autonomía personal y ayudas técnicas. (1996). *Concepto europeo de accesibilidad*.
- Najman, M. . (2021). No quería un desarraigo después de tanta lucha: un análisis desde el enfoque de la movilidad espacial acerca de la configuración del anclaje territorial en una zona disputada. *Ciudades*, vol. 41, no. 41, 223–242, doi: 10.15847/CCT.210.
- Obregón Biosca, S., & Sánchez Escobedo, J. S. (2016). Planificación de rutas turísticas para autobús a través de indicadores de accesibilidad integral y de dotación de bienes materiales e inmateriales. *Transp. y Territ.*, no. 14, 144–166, doi: 10.34096/rtt.i14.2433.
- Observatorio Digital Municipal de Bucaramanga. (2020). *Registro, localización y caracterización de la población con discapacidad*. Obtenido de <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYTZjYTYyNDYtNGIxYy00MDBILlJNDgtODkxOWRkYzczMzFhIiwidCI6IjEwMzQ3NGZjLTUyYmYtNGRiYy1iZjViLTZlMzE3ZmU5MDFlYiIsImMiOiR9>

- Programa Bucaramanga Metropolitana Cómo Vamos. (2019). *Décima encuesta de percepción ciudadana*. Obtenido de https://www.bucaramanga.gov.co/noticias/wp-content/uploads/2019/10/De%CC%81cima-Encuesta-_BMCV-2019_Completa.pdf
- Putman, C. E. (2009). *El imaginario civilista en los parques del centro de Bucaramanga*.
- Python. (s.f.). *Página de inicio*. Obtenido de <https://www.python.org>.
- Suárez Trujillo, P. H. (2011). *Programa de Gobierno Candidato a la alcaldía de Neiva*.
- Wu, H., & Levinson, D. (2020). Unifying access. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 83, no. April, 102355 doi: 10.1016/j.trd.2020.102355.