Estudio de la Localización Espacial de Universidades mediante un Análisis de Accesibilidad Geográfica. El Caso de Manizales y Villamaría, en Colombia

Diego A. Escobar^{(1)*}, Jorge A. Montoya⁽¹⁾ y Carlos A. Moncada⁽²⁾

(1) Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Civil, Grupo de Investigación en Movilidad Sostenible. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Carrera 27 # 64 – 60, Campus Palogrande, Colombia. (e-mail: daescobarga@unal.edu.co; joamontoyago@unal.edu.co)

(2) Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Programa de Investigación en Tránsito y Transporte. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Ciudad Universitaria, Colombia. (e-mail: camoncadaa@unal.edu.co)

* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Recibido Mar. 5, 2019; Aceptado Abr. 25, 2019; Versión final May. 31, 2019, Publicado Dic. 2019

Resumen

Se presentan los resultados de un análisis de accesibilidad geográfica a las Instituciones de Educación Superior del área conurbada Manizales-Villamaría, en Colombia. La administración municipal busca fortalecer su visión de *Ciudad Universitaria*, forjándose como la principal sede de estudios superiores en Colombia. Se aplican técnicas de análisis geoestadístico como instrumento de planificación urbana, que permiten concluir respecto a la existencia de una accesibilidad geográfica inequitativa. Se obtuvo que, al comparar el modo de transporte público con el privado, el primero funciona en condiciones más desfavorables en términos operativos, debiéndose invertir un tiempo medio de viaje de hasta un 80% más en comparación con el modo de transporte privado. Así mismo, se obtuvo que más del 50% de la población logra movilizarse hacia alguno de los centros educativos en un tiempo medio de viaje inferior a los 20 minutos. Esto indica que, a pesar de la inequidad, existe una moderada cobertura de transporte hacia las instituciones de educación superior.

Palabras clave: accesibilidad integral; campus universitario; cobertura de transporte; educación superior

Study of the Spatial Location of Universities through a Geographic Accessibility Analysis. The Case of Manizales and Villamaría, in Colombia

Abstract

The results of an analysis of geographic accessibility to the Institutions of Higher Education of the conurbation area Manizales-Villamaría is presented. Local administration seeks to strengthen its vision of *University City*, to transforming it as one of the most important higher studies areas in Colombia. Geostatistical analysis techniques are applied as an urban planning instrument, which allow concluding that there exists inequitable geographical accessibility. It was found that comparing the transit mode with the private mode, the first one have unfavorable operating conditions, and an additional average travel time of up to 80% must be invested in comparison with the private transport mode. The analysis shows that more than 50% of the population moves to some of the educational centers in a travel time of less than 20 minutes. This indicates that, despite the inequality, there is a moderate coverage of transportation to the higher education institutions.

Keywords: integral accessibility; university campus; transport coverage; higher education

INTRODUCCIÓN

Actualmente, una de las ramas de la geografía social se centra en conocer las condiciones de desigualdad e inequidad a partir del estudio de la relación entre el uso del espacio y la sociedad, analizando “quien obtiene qué, dónde y cómo” (Del Casino, 2017); otras ramas se han centrado en analizar los problemas de las comunidades más desfavorecidas en términos de capacidad económica y exclusión financiera (Pain, 2004), así como en soportar la configuración de las políticas públicas de provisión de servicios como educación, salud, y transporte, los cuales son vitales para un verdadero desarrollo económico local (Daniels, 1991). Dado lo anterior, cuando la geografía social comenzó a abordar los temas relacionados con la inequidad y la desigualdad, las investigaciones se focalizaron en la búsqueda de una organización espacial en la cual se pudiese establecer las comunidades que se benefician o no con la aplicación de políticas públicas (Del Casino, 2017). Por su parte, el desarrollo socio-económico de un país se encuentra ligado al crecimiento y calidad de la educación superior que éste posea (Walsh et al., 2017), así mismo, la educación es considerada uno de los pilares básicos del progreso social e individual, que fomenta la equidad en una comunidad (Celis y Villada, 2011). En términos económicos, el alcance y visión que se tenga en la educación superior puede reflejar las expectativas de crecimiento y desarrollo de un país (Kavrouidakis et al., 2013), sin embargo, uno de los principales temas de discusión al respecto, son las condiciones de accesibilidad ofrecida por la red de infraestructuras de transporte y la evidente inequidad existente en dichas condiciones.

Ahora bien, se ha encontrado que las desigualdades educativas limitan las condiciones de vida (Celis y Villada, 2011) y las personas de niveles socioeconómicos más bajos poseen una barrera inicial en cuanto al acceso a este servicio, debido a los aspectos como: i) calidad de la educación previa, ii) limitados cupos en Instituciones de Educación Superior (IES) públicas y, iii) el alto costo de las matrículas en las IES privadas (Ainsworth, 2002; Blanden y Machin, 2004; Gómez y Celis, 2009). Además de lo anterior, las condiciones de accesibilidad geográfica, es otra condición que las personas deben superar para alcanzar un equipamiento de educación superior, por lo que mejorar la cobertura espacial que ofrece la red de infraestructuras del transporte dada la ubicación de este tipo de equipamientos, se ha convertido en un aspecto fundamental para las ciudades, impulsado a través de políticas públicas (Walsh et al., 2015); no obstante, para aplicar políticas públicas diseñadas con el fin de impactar grupos sociales específicos, los responsables de dicha aplicación deben conocer detalladamente cómo dicho grupo se beneficiará o se verá afectado (Lucas et al., 2015).

La accesibilidad es un concepto utilizado desde hace décadas en diversos temas como la planificación urbana, usos del suelo y del transporte, así como en la planeación de ciudad (Batty, 2009; Páez et al., 2012). Partiendo de Hansen (1959) quién ha definido la accesibilidad como el potencial de oportunidades de interacción que posee una persona o grupo de ellas, la cual puede ser evaluada a través de la red de infraestructura vial y utilizando un modo de transporte particular (Geurs y Ritseman, 2001). Así mismo, es posible aplicar el concepto para determinar condiciones de equidad o geografía de desigualdades para diferentes grupos de población, con lo cual es posible detectar niveles de participación social, inclusión o cohesión (Lucas et al, 2015). La accesibilidad a través de los años ha sido abordada desde distintos enfoques, perspectivas y tipos de medidas, entre las que se destaca la accesibilidad integral, la cual mide el potencial de oportunidades de una zona respecto a determinados establecimientos, es decir, a través de ésta se puede calcular la cobertura y área de influencia que poseen equipamientos como hospitales, universidades, centros comerciales y muchos más (Geurs y Van Wee, 2004; Ingram, 1971). En los últimos años, diversas metodologías de cálculo de accesibilidad han sido utilizadas para evaluar la cobertura de la educación superior, en diversas regiones como Irlanda (Cullinan et al., 2013; Walsh et al., 2017, 2015) e Inglaterra (Gibbons y Vignoles, 2012), por ejemplo.

Manizales (Figura 1), capital del Departamento de Caldas, posee un alto nivel cultural, vocacional y de calidad enfocado en el desarrollo de la educación superior, representado en las universidades e instituciones de educación técnica y tecnológica, acreditadas y establecidas a lo largo de su territorio. Con Villamaría, municipio contiguo a Manizales, se genera una dinámica tanto de movilidad como de prestación de servicios conjunta, estableciéndose como un área conurbada consolidada que alberga una población de 419 mil habitantes aproximadamente. Entre las Instituciones de Educación Superior (IES) del área conurbada, albergan aproximadamente 47 mil estudiantes, representando un 9,1% de la población. Dado lo anterior, el gobierno municipal ha tomado medidas con el fin de impulsar dicha vocación de ciudad a través de la conformación del Sistema de Universidades de Manizales (SUMA), el cual es un convenio entre las seis universidades más importantes de la ciudad. Entre dichas universidades existe una oferta de 121 programas de pregrado y 175 de posgrado, que permite un apoyo continuo en temas de docencia, extensión e investigación, a través de los diversos grupos de trabajo académico e investigativo, aporte de recursos y movilidad académica que permite a los estudiantes cursar asignaturas en cualquiera de las universidades que hacen parte del convenio; generándose una visión conjunta del modelo de proyección de las IES. Por otra parte, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) vigente, se propone seguir consolidado a Manizales como ciudad universitaria líder en Educación Superior en Colombia, lo que demuestra el compromiso de la

Administración Municipal en mejorar y desarrollar dicho modelo. Por estas razones, es importante medir la accesibilidad geográfica ofrecida por la red de infraestructuras del transporte hacia cada universidad perteneciente al convenio SUMA y éstas en conjunto, relacionando su cobertura con diferentes características físicas, operativas (Ver Tabla 1) y variables geográficas.

Fig 1. Localización geográfica de Manizales y Villamaría, localización de IES.

Tabla 1. Universidades en la Ciudad de Manizales

Universidad	Tipo	Años de servicio	Programas Pregrado	Programas Posgrado	Campus	Área construida (m ²)	Número de estudiantes	m ² / est.
Nacional	Pública	71	11	29	Palogrande	20.802	1.168	17,8
					La Nubia	35.403	4.087	8,7
					El Cable	5.476	584	9,4
Caldas	Pública	76	43	59	Central	18.266	5.220	3,5
					Palogrande	7.337	3.430	2,1
					Salud	9.139	2.685	3,4
					Agropecuarias	6.463	1.790	3,6
					Bellas Artes	2.829	1.193	2,4
					Bicentenario	3.372	597	5,6
Autónoma	Privada	40	21	33	Central	16.319	3.261	5,0
					Fundadores	8.589	1.779	4,8
					Gastronómica	3.722	890	4,2
Manizales	Privada	47	20	32	Central	75.689	8.070	9,4
Católica	Privada	65	15	15	Central	23.577	2.903	8,1
Luis Amigó	Privada	35	11	7	Central	2.550	675	3,8

En esta investigación se evalúa la cobertura que posee el área conurbada de los municipios de Manizales y Villamaría en cuanto a IES certificadas por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y que hacen parte del SUMA (representan el 82% del total de estudiantes universitarios en Manizales) según las características de accesibilidad ofrecidas por la red de infraestructuras del transporte; los cálculos se refieren a la ciudad compacta, sin considerar unidades residenciales ubicadas en zona rural. El análisis de cobertura poblacional se realiza según la distribución poblacional (Figura 2) y el estrato socioeconómico, el cual es una variable discreta con escala de 1 a 6 según la capacidad económica y calidad del entorno de la vivienda (siendo 1

barrios de baja capacidad y 6 barrios de alta capacidad, Figura 3), encontrando que algunos estudios indican que existen diferenciales y brechas entre estratos socioeconómicos en lo que respecta a las condiciones de vida, ingresos, escolaridad y pobreza (Celis y Villada, 2011). En Manizales se han realizado estudios de accesibilidad territorial enfocados a servicios educativos (Younes et al., 2016), de salud (Escobar et al., 2016), entre otros.

Fig 2. Densidad poblacional de la zona de estudio y localización IES.

Fig 3. Estratificación de la zona de estudio y localización IES.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la investigación se establece la secuencia metodológica presentada en la Figura 4, la cual consta de 5 fases principales. En la primera se realiza la geolocalización de las IES del convenio SUMA, cargando sus características físico-operativas. En segundo lugar, se realiza la validación de la red de transportes de la ciudad, la cual permite realizar la evaluación de accesibilidad utilizada en la tercera fase. En la cuarta fase se utilizan métodos geo estadísticos para obtener las curvas isócronas de accesibilidad para cada universidad estudiada y en conjunto, por último, se genera un modelo comparativo entre la cobertura

poblacional y los estratos socioeconómicos de la ciudad, encontrando relaciones de dichos resultados con las características físico-operativas establecidas en la fase uno. En los siguientes apartados se aborda cada fase de forma más específica.

Fig 4. Metodología aplicada.

Georreferenciación de las universidades en Manizales

En esta fase de la investigación se procede a georreferenciar en el software GIS ArcGis 10.4.1 las universidades objeto de estudio, en este caso las pertenecientes al convenio SUMA de Manizales, el cual posee 6 universidades adscritas, de las cuales cuatro son de carácter Privado y dos son de carácter Público, las públicas tienen más de 70 años de establecidas y sólo una privada supera los 50 años de antigüedad. Las Universidades se georreferencian como se observa en la Figura 1 y se cargan con los datos de las variables físico-operativas respectivas (Ver tabla 1), con el fin de dilucidar algunas relaciones entre dichas variables y los resultados del análisis geoestadístico posterior a esta fase.

Validación de la red de transporte

Para el cálculo de la accesibilidad integral, es necesario obtener la red de transportes de la ciudad, validada y estructurada mediante GIS (ArcMap) según la teoría de grafos. Esta teoría, describe la posibilidad de representar mediante arcos (segmentos viales, constituidos por calles y tramos peatonales) y nodos (intersección vial, principio o finalización de una vía) el comportamiento de un sistema de transporte; facilitando los procesos de modelación y entendimiento de fenómenos (Fakcharoenphol y Rao, 2006; Taaffe, 1996). Adicionalmente, dentro de la red, se deben considerar los diferentes parámetros físicos y operativos de un sistema de transporte, dentro de los cuales se tiene: longitud, velocidad de operación, direccionalidad, pendiente, número de carriles, capacidad, tiempo de viaje, entre otros. En la red de infraestructuras del transporte se han considerado las variaciones e intervenciones viales propuestas por la administración municipal a lo largo de los últimos años; cabe aclarar que los datos de velocidad se obtuvieron mediante dispositivos de posicionamiento global (GPS) (Younes et. al., 2016). Para el cálculo de la longitud de los arcos, se utiliza la herramienta "Calculate Geometry" del software ArcGis, mediante el cual también se obtienen los tiempos de viaje por arco, relacionando la longitud y las velocidades propias de cada uno.

Cálculo de la accesibilidad integral

El proceso de cálculo de la accesibilidad integral, en primera instancia, debe relacionar el nodo de la red de transportes más cercano a las diferentes sedes de las universidades analizadas. Luego, se calcula la ruta más corta de todos los nodos de la red de infraestructuras del transporte hacia cada uno de los nodos seleccionados para las sedes de cada universidad en el software TRANSCAD 7.0 (Escobar, et. al., 2016). Esta ruta, equivale a minimizar el tiempo de viaje entre nodos mediante el algoritmo propuesto por Dijkstra (1959); posteriormente, se calcula el vector de tiempos medios de viaje para cada universidad y para el escenario de todas las universidades en conjunto, mediante la ecuación (1).

$$\overline{T_{Vi}} = \frac{\sum_{j=1}^n tv_{ij}}{n} \quad (1)$$

En el primer caso, n corresponde al número total de sedes que posee cada universidad, por lo que se obtiene el vector promedio de tiempos para cada una de éstas; en el segundo caso, se realiza la sumatoria de tiempos medios de viaje de todas las universidades y se divide entre 15, el cual es el número total de sedes para las 6 universidades estudiadas. Dicho proceso se realiza para el escenario de velocidades en vehículo privado (Pr) y el escenario de velocidades en Transporte Público (TP).

Método de kriging ordinario

Mediante los modelos geo estadísticos, es posible construir las curvas isócronas de accesibilidad integral de cada una de las universidades analizadas a partir del vector de tiempos de viaje y en conjunto (Matheron, 1963), tanto para velocidades del sistema de transporte como para velocidades de Transporte público. En nuestro caso particular, se utiliza como método de predicción el Kriging ordinario con semi variograma lineal (Simpson et al., 2001), el cual considera la correlación espacial entre variables definidas, generando superficies continuas a partir de nodos discretos; asumiendo que, a pesar de desconocerse el valor de la media en los puntos de interpolación, esta es constante y con variables estacionarias sin tendencias (Delgado y Martínez, 2015; Villatoro et al., 2008); la estructura de interpolación se observa en la ecuación (2).

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad (2)$$

Donde, $\hat{Z}(S_0)$ = Valor estimado en el punto interpolado S_0 ; λ_i = Peso adjudicado al valor observado $Z(S_i)$ cercano al valor S_0 ; n = número de observaciones cercanas, utilizadas en la estimación. Este método de interpolación ha sido ampliamente utilizado como predictor en modelos de transporte, arraigándose como el modelo geo estadístico más frecuentado por diversos investigadores en este tema (Lindner et al., 2016; Zhang y Wang, 2014).

Comparación accesibilidad, población y estrato socioeconómico

En la fase final, se realiza un análisis de cobertura mediante la intersección de las curvas isócronas de accesibilidad integral calculadas en las anteriores fases y el polígono de barrios de la ciudad compacta, sin considerar unidades residenciales ubicadas en zona rural. Dicha capa, posee información referente al estrato socioeconómico, población y densidad poblacional. La información sociodemográfica se obtuvo a partir de las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Posteriormente, se realiza un análisis de regresión lineal simple entre variables físico-operativas y un análisis de regresión lineal múltiple, con el fin de identificar las variables que más se correlacionan entre sí y serían más significativas. El análisis de cobertura de población y área para cada universidad y en conjunto, así como una comparación de las características físico-operativas y el respectivo análisis estratificado, permitirá encontrar las disparidades en las condiciones de accesibilidad a la educación superior (Younes et al., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 5 se observan las curvas isócronas de cobertura geoespacial de las IES analizadas en base a velocidades de vehículos privados (Pr). Se aprecia cómo 12 de las 15 sedes de las IES están cubiertas por el tiempo promedio de viaje de hasta 15 minutos, cubriendo a cerca del 29% de la población (122.084 hab.); por su parte, la Universidad de Manizales se encuentra por fuera de esta cobertura debido a que se encuentra en el intervalo de tiempo entre 15 y 20 minutos, cubriendo un total de 159.266 hab., en este intervalo también se ubica la sede de Artes de la Universidad de Caldas, la sede más occidental de dicha IES. Por último, la sede La Nubia de la Universidad Nacional de Colombia se ubica en el sector oriental, entre las curvas isócronas más altas entre 20 y 25 minutos, cubriendo un total de 75.568 hab.

El análisis de los resultados de cobertura de las variables población y área (Figura 6a), permite establecer que el 67% de la población (282.788 hab.) puede llegar hasta alguna de las IES de la ciudad si se invierte un tiempo promedio de viaje de hasta 25 minutos en su caso más extremo; no obstante, en relación con la variable área, si se invierte este mismo tiempo promedio de viaje, se alcanza a cubrir sólo el 35% (2.067 ha) del área total de la ciudad, indicando que los sectores donde se ubican las IES son de densidad poblacional moderada. Asimismo, para tiempos promedio de viaje de hasta 30 minutos, la cobertura en población y área alcanza 93% (388.280 habitantes) y 77% (4.530 ha) respectivamente, indicativo de la buena cobertura que posee la ciudad en cuanto a educación superior. Se encontró que toda la población se cubriría con tiempos promedio de viaje de hasta 40 minutos, mientras que para cubrir la totalidad de la variable área, es necesario invertir hasta 50 minutos de tiempo promedio de viaje. En la Figura 6b se presenta el resultado de cobertura poblacional según el estrato, se observa que para un tiempo promedio de viaje de hasta 15 minutos son los

estratos altos los de mayor cobertura poblacional, por ejemplo, los estratos 5 y 6 refieren cobertura del 95% y del 65% de su población, respectivamente. Ahora bien, para el mismo período de tiempo promedio de viaje, los estratos 1 y 2 presentan porcentajes de cobertura poblacional bastante bajos, llegando a 2% y 24%, respectivamente; por su parte, los estratos medios, refieren coberturas del 26% para el estrato 3 y del 41% para el estrato 4 para el mismo tiempo promedio de viaje. Los anteriores resultados permiten establecer que dada la ubicación geoespacial de las IES y dadas las características operativas de la red de infraestructuras del transporte de la ciudad, la población de mayor capacidad económica posee unas posibilidades de acceso operativo (Vehículo privado, Pr) más favorables que la población con menores recursos económicos. Lo anterior, simplemente evidencia la alta inequidad en términos de cobertura poblacional según estrato, a partir de un servicio vital para el desarrollo social como es el acceso a la educación superior.

Fig 5. Curvas de accesibilidad integral a partir de velocidades Pr, análisis conjunto de todas las IES.

Fig 6. Cobertura en Pr hacia IES: a) variables población y área; b) Ojiva porcentual según estrato.

Por otra parte, se analizó la accesibilidad integral de las IES tomando como variable operativa las velocidades del transporte público (TP) a lo largo de las rutas municipales establecidas por la administración municipal. En la Figura 7 se presentan las curvas de accesibilidad integral a partir de velocidades TP y en análisis conjunto de todas las IES; se encontró que la IES que menor tiempo medio de viaje refieren en TP es la Universidad de Caldas, con un valor por debajo de los 20 minutos (centro de la Figura 7, triángulo); mientras que la IES que refiere los mayores valores de tiempo medio de viaje es la Universidad de Manizales, con un valor superior a los 32 minutos (noroccidente de la Figura 7, círculo).

El análisis de los resultados de cobertura de las variables población y área (Figura 8a), permite establecer que para un tiempo medio de viaje de 25 minutos, los porcentajes de cobertura están en 55% y 22%, respectivamente, valores menores a los obtenidos para el caso del transporte privado; así mismo, se encontró que toda la población se cubriría con tiempos promedio de viaje de hasta 65 minutos, mientras que para cubrir la totalidad de la variable área, es necesario invertir hasta 105 minutos, igualmente, valores muchos más altos que los obtenidos para el modo de transporte privado. Al hacer el análisis de cobertura poblacional según el estrato (Figura 8b), se aprecia que para un tiempo medio de viaje de 15 minutos, no hay cobertura poblacional

de ningún estrato excepto el estrato 2, el cual refiere una cobertura del 0,11% de su población, valor extremadamente bajo, máxime si se compara con los valores de cobertura para el mismo tiempo en relación con el transporte privado. Es para un tiempo de viaje de 20 minutos donde el porcentaje de cobertura por estratos ya comienza a evidenciarse, con valores de cobertura superiores al 7% excepto para el estrato 6.

Fig 7. Curvas de accesibilidad integral a partir de velocidades Pr, análisis conjunto de todas las IES.

Fig 8. Cobertura en TP hacia IES: a) variables población y área; b) Ojiva porcentual según estrato.

Ahora bien, al calcular la relación entre el tiempo medio de viaje en TP y el tiempo medio de viaje en Pr, para cada una de las IES analizadas, se concluye que son mejores las condiciones de accesibilidad en transporte privado que en transporte público, encontrando en algunos casos, como la sede Palogrande la Universidad Nacional de Colombia que las personas que desean llegar a ésta deben invertir en promedio un 134% más si se desplazan en transporte público, lo cual es un claro y evidente signo de inequidad; así mismo, se encontró que el menor valor de relación lo refiere la Universidad de Manizales, a la cual se debe invertir en promedio un 42% más de tiempo de viaje si el trayecto se hace en transporte público, esto a pesar de haber encontrado que es esta misma IES la que peores condiciones de accesibilidad registró tanto para TP como para Pr.

Luego de establecer que las mejores condiciones de accesibilidad integral se obtienen en relación con la operatividad del transporte privado, se tiene que analizando el resultado de las curvas isócronas de accesibilidad integral y su cobertura de población, son la Universidad Autónoma y la Universidad de Caldas las que refieren una cobertura del 100% de la población para tiempos promedio de viaje de hasta 40 minutos, mientras que está misma cobertura se alcanza en tiempos de hasta 45 minutos para la Universidad Católica y la Universidad Luis Amigó; por su parte, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Manizales cubren el 100% de la población en tiempos promedio de viaje de hasta 50 minutos, resultando como las Universidad con características de accesibilidad más desfavorables en la ciudad (Figura 9), situación que se explica dada la ubicación y número de campus que posee cada una de éstas, en algunos casos, campus bastante distanciados y periféricos, como el caso de la Universidad de Caldas, la cual es la que posee mayor número de campus y edificios, distribuidos a lo ancho de la ciudad y ubicados sobre las vías arteriales principales de la ciudad. Las Universidades Católica y Luis Amigó poseen un campus cada una, ubicados sobre la vía arteria principal más importante de la ciudad, la cual le conecta en el sentido oeste-este. La Universidad Nacional de Colombia, cuenta con tres campus, dos de ellos ubicados en el corazón económico de la ciudad lo que hace que su acceso a ellos sea rápido comparado con el tercero que está ubicado en la

parte oriental de la ciudad, cerca al aeropuerto la Nubia, lo que hace que el acceso para la población que se encuentra hacia al occidente sea difícil. Asimismo, la Universidad de Manizales está ubicada en el occidente de la ciudad, lo que ocasiona que las personas que habitan en la parte oriental tengan unos tiempos de viaje más altos, caso similar al de la Universidad Nacional, con su tercer campus.

Fig. 9. Comparación de ojiva porcentual de cobertura poblacional según IES.

Haciendo un análisis de cobertura individual de cada IES según el estrato, se encontró que la Universidad Autónoma tiene una cobertura muy similar en todos los estratos, excepto para el estrato 3. Por otro lado, para la Universidad de Caldas si se observa una inequidad más marcada. En este caso, el estrato 5 alcanza el 100% de cobertura de población en 15 minutos o menos mientras que el estrato 1 está cubierto en su totalidad por la curva isócrona de 35 minutos o menos. Para el estrato 2 y 3 este valor sube 5 minutos más y alcanza los 40 minutos o menos de tiempo promedio de viaje para el 100% de la población, esto equivale a 20 minutos más movilizándose para el estrato 1 y 25 minutos más para el estrato 2 y 3 respecto al estrato 5. Las Universidades Católica y Luis Amigó poseen coberturas de población similares en lo referente a estratos, para éstas, el estrato 5 posee condiciones de accesibilidad más favorables que los estratos 2 y 3, pues para cubrir el 100% de la población del estrato 5 se deben invertir un promedio de hasta 20 minutos, mientras que para cubrir el 100% de la población de los estratos 2 y 3, dicho valor de tiempo llega hasta los 40 minutos. Para la Universidad de Manizales se destaca que es el estrato 4 el que refiere mejor cobertura y que es la única donde el estrato 5 no tiene la mejor accesibilidad, no obstante, de nuevo al estrato 3 le toma más tiempo de viaje para acceder a dicha universidad. Por otro lado, para la Universidad Nacional de Colombia, las mejores coberturas son para los estratos 5 y 6, contrario a lo encontrado para los estratos 1 y 2.

Realizando un análisis de correlación de Pearson entre las variables físico-operativas (Área construida, Número de estudiantes, Tiempo medio de viaje en vehículo privado, Tiempo medio de viaje en TPCU, relación TPCU Vs Privado), se identificaron pares de variables que tienen mayor correlación. De dichas correlaciones se presentan en la Tabla 2 los coeficientes de Pearson, constantes de cada modelo lineal, Error estándar, Estadístico F, tvalue, pvalue y r^2 . Analizando los resultados de regresión lineal simple, se tiene que entre las variables “número de estudiantes” y “área construida” de cada universidad existe la mayor correlación de Pearson con un 0,8593, y el modelo que les relacionaría puede explicar el 73,83% de la variabilidad presente en “número de estudiantes” mediante la variable “área construida”, observando además que el modelo tendría significancia dado su pvalue, el tvalue y estadístico F.

Tabla 2. Modelos de regresión lineal simple para pares de variables

Variables	Coef. de Pearson	β_0	β_1	Error Estándar	Estadístico F	tvalue	pvalue	r^2
Nº Est. Vs Área Const.	0,8593	1059,00	376,70	0,02	36,68	6,057	4,1E-05	0,7383
TP Vs Pr	0,8561	11,42	0,9245	0,15	35,68	5,973	4,6E-05	0,7330
TP Vs Área Const.	0,7657	20,45	1,88E-04	4,38E-05	18,42	4,292	8,8E-04	0,5863
Nº Est. Vs TP	0,6246	-3947,19	277,27	96,14	8,32	2,884	1,3E-02	0,3902
Nº Est. Vs Pr	0,5971	-1170,00	286,20	106,70	7,20	2,684	1,9E-02	0,3565

Ahora bien, al realizar un análisis de regresión lineal múltiple, se observan en la Tabla 3, los resultados de los modelos tomando cada una de las variables como variable respuesta; por ejemplo, se tiene que si la variable respuesta es “tiempo medio de viaje en transporte privado (Pr)”, el estadístico F, el tvalue y el pvalue, indican una mayor significancia del modelo, con un r^2 de 0.9931, es decir, de los posibles modelos de regresión lineal múltiple, el que mejor ajuste tiene es aquel en el cual la variable respuesta es el tiempo medio de viaje en Pr.

Tabla 3. Valores representativos de los modelos de regresión lineal múltiple según la variable respuesta

Variable respuesta	Error Estándar residual	Estadístico F	pvalue	r ²
Tiempo en Pr	0,4247	361	9,178E-11	0,9931
Tiempo en TP	0,7377	138	1,055E-08	0,9822
PT / Pr	0,05336	102,6	4,473e-08	0,9762
Número de estudiantes	1241	7,282	0,00515	0,7444

DISCUSION FINAL

En Manizales existe una moderada cobertura para la educación superior en términos de accesibilidad geográfica, debido a que la totalidad de la población alcanza todas las instituciones de educación superior estudiadas en tiempos promedio de viaje de hasta 40 minutos. Asimismo, cerca del 85% de las personas alcanzan la cobertura en 25 minutos o menos, teniendo un buen indicativo de la cobertura geográfica de la educación superior en la ciudad. En términos de equidad en el acceso a las instituciones de educación superior en Manizales, se observa cómo los estratos altos poseen unas mejores condiciones de accesibilidad, mientras que los estratos bajos son los que están cubiertos por curvas isócronas de mayor tiempo medio de viaje, comprobándose la inequidad en cuanto al acceso respecto al nivel socioeconómico. Es importante cerrar esta brecha para que así la cobertura no se convierta en un impedimento más para las personas de estratos bajos a la hora de ingresar a la educación superior, además se debe complementar este análisis con la cobertura mediante los modos de transporte autónomos (caminata y bicicleta), los cuales son los modos de transporte más incluyentes y que generan mayor sostenibilidad en una ciudad.

Se resalta que las personas que hacen parte de los estratos de baja capacidad económica, no solo deben invertir mayor cantidad de tiempo medio de viaje para alcanzar las universidades, lo cual se corrobora simplemente al comparar los tiempos medios de viaje entre vehículo privado y transporte público, sino que también, en muchos casos deben invertir más dinero al tener necesidad de realizar trasbordos en varias o algunas rutas de transporte público de la ciudad. En estudios llevados a cabo en la ciudad de Sheffield (Inglaterra), se encontró mediante análisis de accesibilidad, que los estratos de baja capacidad económica eran cubiertos en mayor proporción poblacional que los de estratos altos, al relacionar la ubicación geoespacial de la Universidad de Sheffield y la Sheffield Hallam University (Kavrouidakis et al., 2013), situación contraria a la encontrada en la ciudad de Manizales.

Ahora bien, en el caso particular de análisis de cobertura para cada universidad, se observa como la Universidad de Manizales posee una accesibilidad de menores condiciones al ser comparada con las demás Universidades debido a su ubicación periférica en el sector occidental de la ciudad. Asimismo, la Universidad Autónoma y Universidad de Caldas son las que representan la mejor cobertura debido a la ubicación en la zona con mejores condiciones de accesibilidad y al número de sedes que poseen, respectivamente. El anterior análisis, observándolo de forma conjunta, permite establecer que existe una importante condición de accesibilidad inequitativa hacia las IES analizadas, tanto desde el punto de vista del modo de transporte usado como de la cobertura poblacional alcanzada por cada uno de los estratos; así mismo, si se analiza o comparan las variables físicas entre IES Privadas y Públicas, es posible destacar, por ejemplo, que las IES privadas ofrecen más área construida, alcanzando el 54% del total de m² de las seis universidades; no obstante, las IES públicas albergan el 54% del número total de estudiantes; así mismo, se encontró que las IES privadas ofrecen, en promedio, 5,9 m²/estudiante, valor menor al ofrecido por las IES oficiales, 6,3 m²/estudiante. Por otra parte, se tiene que para este caso investigativo, las IES más antiguas refieren condiciones de accesibilidad más favorables que las IES más jóvenes, no obstante, éstas últimas se ubican más hacia sectores de importante actividad que en sectores periféricos del área de estudio.

El conocer con claridad la inequidad existente entre ambos modos de transporte, ayudará a que las políticas públicas de desarrollo que abordan el tema de mejora de la educación superior, no sólo tengan en cuenta resultados de índole cognitivo de sus estudiantes, sino también, sea posible tomar decisiones que promuevan la mejora en las condiciones de accesibilidad desagregando los beneficios de las políticas de transporte en grupos de población específicos (Lucas et al., 2015), que no reciben adecuadamente un servicio como el de la educación superior. Valdría la pena también aplicar metodologías de investigación participativa en enfoques de la geografía social (Pain, 2004), siendo posible la aplicación de líneas de tiempo y mapeo, lo cual es útil para resaltar mucho más las dimensiones espaciales y temporales de los problemas, como el analizado en la presente investigación. Por otra parte, se podría complementar esta investigación teniendo en cuenta un análisis de accesibilidad basado en oportunidades acumuladas, que involucre los diferentes métodos de admisión de las universidades y el costo de sus matrículas para así conocer cuáles son las zonas de la ciudad que realmente tienen la posibilidad de acceder a las IES y en qué porcentaje lo hacen. Con esto se podrían crear políticas con el fin de mitigar la inequidad en el acceso a la educación superior, ya que la existencia de

un acceso desigual a las oportunidades de educación se convierte en una importante fuente de inequidad y desigualdad (Celis y Villada, 2011).

Mediante la revisión bibliográfica realizada, se estableció que existe variedad de estudios investigativos que aplican los conceptos de geografía social, de servicios y de desigualdades, y que la presente investigación se enmarca claramente dentro de este tipo de estudios en relación con el análisis de equidad en las condiciones de accesibilidad proporcionadas por una red de infraestructuras del transporte. Lo anterior provee más fuerza al artículo de investigación en relación de cómo es posible aplicar un instrumento de planificación urbana, que apoye la toma de decisiones relacionadas con las condiciones de prestación de un servicio como el de la educación superior. La metodología aplicada en la presente investigación puede robustecerse, al involucrar nuevas líneas de investigación que le complementen, por ejemplo, el porcentaje de población en edad de realizar estudios superiores por barrio, costos de realizar los estudios superiores por universidad, así como otras variables sociodemográficas que podrían ir detallando de forma más precisa los resultados de la investigación. La aplicación de modelos geoestadísticos como instrumentos de planificación territorial, abre un abanico de análisis de variadas alternativas de intervención, control y gestión de una red de infraestructuras de transporte, en la cual a partir del estudio de diferentes escenarios, es posible comprobar el impacto que sobre determinados grupos poblacionales se tendría dada alguna decisión, es por ello que se concluye que esta metodología se configura como una herramienta que proporciona resultados bastante importantes en términos de análisis de ciudad y provisión de servicios urbanos. En particular, se requieren políticas puntuales y afirmativas que favorezcan el desarrollo de una educación comprometida con la superación de la inequidad.

CONCLUSIONES

Se concluye que en Manizales existe una accesibilidad geográfica inequitativa, relacionada con las posibilidades de alcanzar cualquiera de las IES estudiadas, no sólo porque el usar el modo de transporte público es mucho menos eficiente, en términos de tiempo medio de viaje y de cobertura poblacional, que el modo de transporte privado, sino también por la situación en la cual los estratos altos reportan condiciones de accesibilidad más favorables que los bajos, dada la localización actual de las IES y las condiciones de la red de infraestructuras del transporte. Así mismo, desde el punto de vista de los tiempos de viaje promedio que deben ser invertidos para alcanzar alguna de las IES estudiadas, permite concluir que a pesar que las IES oficiales refieran menores tiempos medios de viaje, en ambos modos de transporte, que las IES privadas, son las primeras las que registran una mayor disparidad entre llegar en transporte privado o público, debido a que para alcanzar una IES oficial, se debe invertir, en promedio, un 83% más de tiempo si se realiza el desplazamiento en transporte público a si se realiza el desplazamiento en transporte privado; para las IES privadas, dicho valor de disparidad es del 77%. El panorama descrito exige la puesta en marcha de medidas integrales que modifiquen los patrones sociales discriminatorios que se expresan en las condiciones inequitativas de accesibilidad, situación que también se refleja en la oferta de programas académicos y los resultados generales el sistema de educación superior.

REFERENCIAS

- Ainsworth, J. W, *Why Does It Take a Village?*, <http://doi.org/10.1353/sof.2002.0038>, The Mediation of Neighborhood Effects on Educational Achievement, *Social Forces*, 81(1), 117–152 (2002)
- Batty, M. Accessibility: In search of a unified theory. <http://doi.org/10.1068/b3602ed>, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(2), 191–194 (2009)
- Blanden, J., y S. Machin, *Educational Inequality and the Expansion of UK Higher Education*, <http://doi.org/10.1111/j.0036-9292.2004.00304.x>, *Scottish Journal of Political Economy*, 51(2), 230–249 (2004)
- Celis, M.T. y C. Villada, *Análisis de la equidad educativa en Manizales*. ISSN 1692/939X, *Regiones*, 6(1), 103-150 (2011)
- Cullinan, J., D. Flannery, S. Walsh y S. McCoy, *Distance effects, social class and the decision to participate in higher education in Ireland*, *Economic and Social Review*, 44(1), 19–51 (2013)
- Daniels, P.W., *Some perspectives on the geography of services*. <https://doi.org/10.1177/030913259101500103>, *Progress in Human Geography*, 15(1), 37-46 (1991)
- Del Casino, V. J., *Social geography*, *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, Ed. por Douglas Richardson y otros cinco Ed., 1-19, John Wiley & Sons Ltd., (2017)
- Delgado, O. y J. Martínez, *Elaboración del mapa de ruido del área urbana de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, empleando la técnica de interpolación geoestadística Kriging ordinario*, *Revista Ciencias Especiales*, 8(1), (2015)
- Dijkstra, E. W., *A note on two problems in connexion with graphs*, <http://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF01386390>, *Numerical Mathematics*, 1(1), 269–271 (1959)

- Escobar, D. A., J. M. Holguín y J. D. Zuluaga, *Accesibilidad de los centros de ambulancias y hospitales prestadores del servicio de urgencias y su relación con la inequidad espacial. Caso de estudio Manizales – Colombia*. Revista Espacios, 37(20), 20 (2016)
- Fakcharoenphol, J. y S. Rao, *Planar graphs, negative weight edges, shortest paths, and near linear time*. <http://doi.org/10.1016/j.jcss.2005.05.007>, Journal of Computer and System Sciences, 72(5), 868–889 (2006)
- Geurs, K. T., y J. Ritsema, *Accessibility measures: review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transportation scenarios, and related social and economic impact*. RIVM Report, 787, 1–265 (2001)
- Geurs, K. T. y B. Van Wee, *Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions*. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>. Journal of Transport Geography, 12(2), 127–140 (2004)
- Gibbons, S. y A. Vignoles, *Geography, choice and participation in higher education in England*, <http://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2011.07.004>, Regional Science and Urban Economics, 42(1–2), 98–113 (2012)
- Gómez, V. M. y J. E. Celis, *Crédito educativo, acciones afirmativas y equidad social en la educación superior en Colombia*, Revista de Estudios Sociales, (33), 106–117 (2009)
- Hansen, W. G., *How Accessibility Shapes Land Use*. <http://doi.org/10.1080/01944365908978307>. Journal of the American Institute of Planners, 25(2), 73–76 (1959)
- Ingram, D. R., *The Concept of Accessibility: A search for an operational form*, <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/09595237100185131>. Regional Studies, 5(2), 101–107 (1971)
- Kavroudakis, D., D. Ballas y M. Birkin, *Using Spatial Microsimulation to Model Social and Spatial Inequalities in Educational Attainment*, <http://doi.org/10.1007/s12061-012-9075-2>, Applied Spatial Analysis and Policy, 6(1), 1–23 (2013)
- Lindner, A., C. S. Pitombo, S. Rocha y J. A. Quintanilha, *Estimation of transit trip production using Factorial Kriging with External Drift: an aggregated data case study*, <http://doi.org/10.1080/10095020.2016.1260811>, Geo-Spatial Information Science, 19(4), 245–254 (2016)
- Lucas, K., B. Van Wee y K. Maat, *A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches*, <https://doi.org/10.1007/s11116-015-9585-2>, Transportation, 43(3), 473–490 (2016)
- Matheron, G., *Principles of Geostatistics, Economic Geology*, 58, 1246–1266 (1963)
- Páez, A., D. M. Scott y C. Morency, *Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators*, <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.03.016>, Journal of Transport Geography, 25, 141–153 (2012)
- Pain, R., *Social geography: participatory research*, <https://doi.org/10.1191/0309132504ph511pr>, Progress in Human Geography, 28(5), 652–663 (2004)
- Simpson, T. W., T. M. Mauery, J. Korte y F. Mistree, *Kriging models for global approximation in simulation-based multidisciplinary design optimization*, <http://doi.org/10.2514/3.15017>, AIAA Journal, 39(12), 2233–2241 (2001)
- Taaffe, E. J., *Geography of Transportation*, Morton O'Kelly, (1996)
- Villatoro, M., C. Henríquez y F. Sancho, *Comparación de los Interpoladores IDW y Kriging en la Variación Espacial de Ph, Ca, Cice Y P del Suelo*, Agronomía Costarricense 32(1), 95 – 105 (2008)
- Walsh, S., J. Cullinan y D. Flannery, *The Impact of Proposed Higher Education Reforms on Geographic Accessibility to Universities in Ireland*, <http://doi.org/10.1007/s12061-016-9193-3>. Applied Spatial Analysis and Policy, 10(4), 515–536 (2017)
- Walsh, S., D. Flannery y J. Cullinan, *Geographic accessibility to higher education on the island of Ireland*, <http://doi.org/10.1080/03323315.2015.1010302>, Educational Studies, 34(1), 5–23 (2015)
- Younes, C., D. A. Escobar y J. M. Holguín, *Equidad, accesibilidad y transporte, Aplicación explicativa mediante un análisis de accesibilidad al sector universitario de Manizales (Colombia)*, <http://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300010>, Información Tecnológica, 27(3), 107–118 (2016)
- Zhang, D. y X. C. Wang, *Transit ridership estimation with network Kriging: A case study of Second Avenue Subway, NYC*, <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.08.021>, Journal of Transport Geography, 41, 107–115 (2014)