

Equidad, Accesibilidad y Transporte. Aplicación explicativa mediante un Análisis de Accesibilidad al Sector Universitario de Manizales (Colombia)

Camilo Younes, Diego A. Escobar y Juan M. Holguín

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Manizales – Colombia (e-mail: cyounesv@unal.edu.co, daescobarga@unal.edu.co, jmholguinc@unal.edu.co)

Recibido Oct. 14, 2015; Aceptado Nov. 9, 2015; Versión final Ene. 6, 2016, Publicado Jun. 2016

Resumen

En esta investigación se analiza la posición geoespacial del principal sector universitario de la ciudad de Manizales y su relación con las características operativas de la red de transporte y el estrato de sus principales usuarios (estudiantes y docentes). La metodología aplicada se basa en cuatro etapas teniendo como objetivo el análisis de accesibilidad media integral ofrecida por la red de transportes a la comunidad universitaria, a través de un modelo geoestadístico. Se encontró que los estudiantes que viven en barrios de estrato bajo son los que deben invertir más tiempo para desplazarse hacia la Universidad, situación contraria a la obtenida con los estudiantes y docentes que residen en barrios de estrato alto. Los resultados expresan la inequidad espacial que se refleja en altos tiempos de viaje, así como la ausencia de posibilidades reales de llegar al sector universitario, concluyendo que es necesario el ampliar la variedad de transporte y mejorar la calidad de los modos de transporte que llegan a dicho sector desde la residencia de estudiantes y docentes.

Palabras clave: TIG; equidad; educación universitaria; accesibilidad urbana; análisis de localización

Equity, Accessibility and Transport. Explanatory application by Accessibility Analysis of the University Sector of Manizales (Colombia)

Abstract

In this research, the geospatial position of the main university sector of the city of Manizales and its relation with the operational characteristics of the transport network and the strata of users (students and teachers) is analyzed. The applied methodology is based on four stages with the target of knowing the integral average accessibility offered by the transport network to the university community, through a geostatistical model. The study showed that students who live in neighborhoods of lower strata have to invest more time to go to the University. The results obtained with students and teachers who live in neighborhoods with high stratum situation is the opposite, consuming less travel time. The results show the spatial inequality which is reflected in high travel times, and the lack of real possibilities to arrive in the university sector. It is concluded that it is necessary to expand the variety of transport and to improve the quality of transport modes that come to this sector from the residence of students and teachers.

Keywords: GIT; equity; university education; urban accessibility; location analysis

INTRODUCCIÓN

Manizales se localiza sobre la cordillera central (2150 m.s.n.m.) en la región centro occidente de Colombia; en ésta, habitan aproximadamente 390,000 personas, de las cuales un alto porcentaje (6%) son estudiantes universitarios (Cardona, 2008). En la Figura 1 se observa la estratificación social actual, teniendo que los estratos 3 y 2 son los que alojan un mayor porcentaje de población (la estratificación social en Manizales va de 1 a 6 según la capacidad económica del barrio o sector, siendo 1 zonas de baja capacidad y 6 zonas de alta capacidad). Desde el punto de vista urbanístico, la ciudad se ha adaptado a una topografía abrupta, lo que le confiere una morfología tipo cometa alargada en sentido occidente-oriente, llevando a que los sistemas de transporte deben salvar dificultades topográficas fuertes en el sentido norte – sur, lo cual ha potenciado implementación de sistemas de transporte tipo Cable (Escobar et al., 2015); actualmente en Manizales se cuenta con 64 rutas de transporte público colectivo urbano (Gómez, 2013), las cuales registran un promedio 204,490 viajes por día, de los cuales 13 mil son realizados en el cable aéreo (MCV, 2015); el parque automotor particular viene en acelerado aumento (13% anual), lo cual ha obligado a la administración local a establecer como política de movilidad el comenzar a promover sistemas de transporte alternativos como las bicicletas (sistema inaugurado en noviembre de 2015) y el potenciar fuertemente el sistema de transporte tipo cable y colectivo. La Universidad de Caldas posee cuatro sedes ubicadas a lo largo de la ciudad. Los problemas de movilidad actuales hacen necesario conocer la relación existente entre la residencia de los estudiantes y docentes y la ubicación del futuro Centro Cultural Universitario (CCU), localizado a poca distancia de la sede central de la universidad.

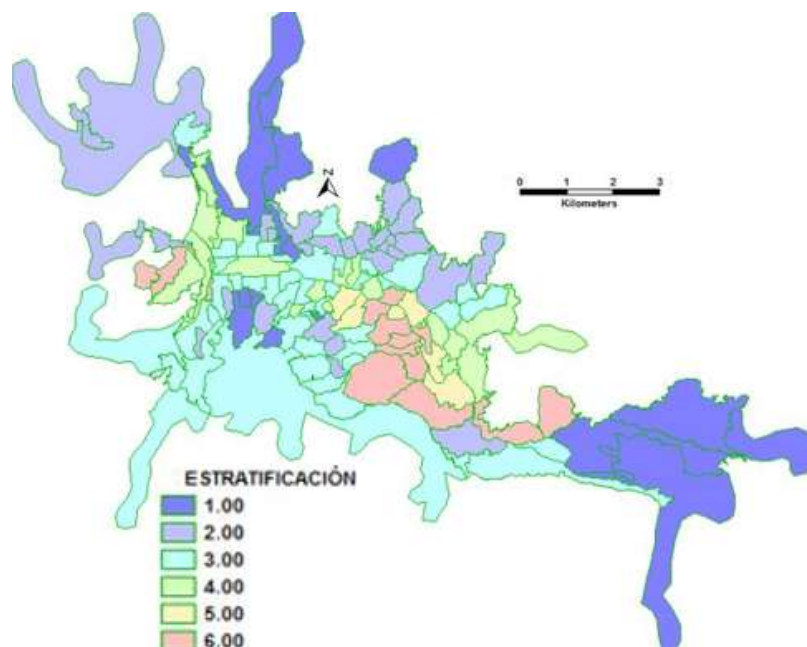


Fig. 1: Estratificación social de la ciudad. Fuente: Elaboración propia a partir de datos oficiales.

A lo largo de la historia del planeamiento urbano y regional, el concepto de “accesibilidad” ha sido bastante importante; se conocen aplicaciones del mismo desde la segunda década del siglo pasado, época en la cual se usó para estudios relacionados con teorías de localización y planeación económica regional (Batty, 2009). Este término permite establecer la facilidad de comunicación que existe, o puede existir, entre diferentes sectores, comunidades o actividades, a través del uso de uno o varios modos de transporte (Morris et al. 1978). Este término, ha sido estudiado en otros campos de la ciencia como: turismo (Kastenholz et al., 2012), análisis demográfico (Kotavaara, 2011), análisis de cohesión social (López et al., 2008), sostenibilidad (Vega, 2011), desarrollo económico (Mackinnion et al., 2008), operatividad de modos de transporte (Escobar y García, 2012), servicios bibliotecarios (Higgs, 2013), y en áreas del conocimiento que superan la barrera de lo tangible como las redes sociales (Sailer et al., 2012).

Por otra parte, se han definido como principales factores que afectan la accesibilidad (Burkey et al., 2012) la distribución poblacional, la red de transporte y el número y localización de los nodos; factores complementarios al nuevo paradigma de la movilidad, basado en la necesidad de entender cómo la vida social se reconfigura por las nuevas tecnologías de la comunicación y su relación con los automóviles (Sheller, 2000), teniéndose en cuenta variables como la calidad de los modos de transporte, proximidad de usos del suelo, características de los desplazamiento de personas y bienes en espacios socio-temporales expresando el deseo, materialización, objetividad o no, de la práctica de viajes de determinadas comunidades (Gutiérrez, 2012); así mismo, a través de la capacidad de los SIG y mediante la aplicación de

geoestadística, se generaron las curvas isócronas de accesibilidad media integral, las cuales son base para el análisis de cobertura geoespacial en relación con las variables área, población y número de viviendas. La facilidad de comprensión de la información que proporcionan los SIG, se relaciona directamente con el uso de algoritmos (Zhang et al., 2009) como el de caminos mínimos.

Es necesario comprender que la accesibilidad debe ser reconocida como una necesidad primaria (Halden, 2011), pues por medio de ésta, es posible explicar las posibilidades existentes para llegar a diferentes actividades (salud, educación, empleo, etc.) dado un grupo de individuos en particular, como estudiantes o docentes para este caso de investigación. Lo anterior está directamente relacionado con que la mayoría de los países desarrollados han definido como uno de los objetivos en transporte incrementar el acceso a servicios y necesidades básicas primarias buscando disminuir cada vez más la diferencia de clases (Jones, 2011). Se entiende como justicia espacial al equilibrio en el acceso a cada una de las necesidades con igualdad económica y equipamientos en las diferentes zonas que conforman el territorio (Moreno y Angulo, 2009), para ello debe existir un desarrollo equitativo en cada una de las bases económicas con el fin de practicar un modelo sustentable en los modelos de ciudad-región (Venegas y Rojas, 2009). Por otra parte, es posible hablar de equidad / igualdad en el acceso y equidad / igualdad espacial, el primer término, en un sentido geográfico se refiere al costo de desplazamiento (tiempo, distancia, dinero, etc.) de los usuarios a los equipamientos (Moreno, 2007), mientras el segundo, tiene en cuenta las diferencias per cápita entre zonas (estratificación en este caso en particular). Un análisis geoespacial permite entonces conocer las características de accesibilidad ofrecidas por una red de transportes, que a su vez es la que proporciona acceso a las actividades a diferentes grupos de individuos.

En Colombia, estos términos han sido poco abordados, desconociéndose el inmenso potencial que posee este tipo de metodologías, a pesar de ello, actualmente se poseen ejemplos reales de aplicación de análisis de accesibilidad a escala regional (Escobar et al., 2013) y a escala urbana (Escobar et al., 2012; Botero et al., 2011). En los siguientes capítulos se aborda la metodología, modelo de medición, se discuten los principales resultados y se presentan las conclusiones.

METODOLOGÍA

La Figura 2 muestra la metodología aplicada, la cual se resume en cuatro etapas principales, a saber: 1) Actualización y validación de características operativas de la red de infraestructuras del transporte; 2) Geoespacialización de estudiantes y docentes de la Universidad de Caldas; 3) Cálculo de la Accesibilidad Media Integral; y 4) Análisis de Coberturas.

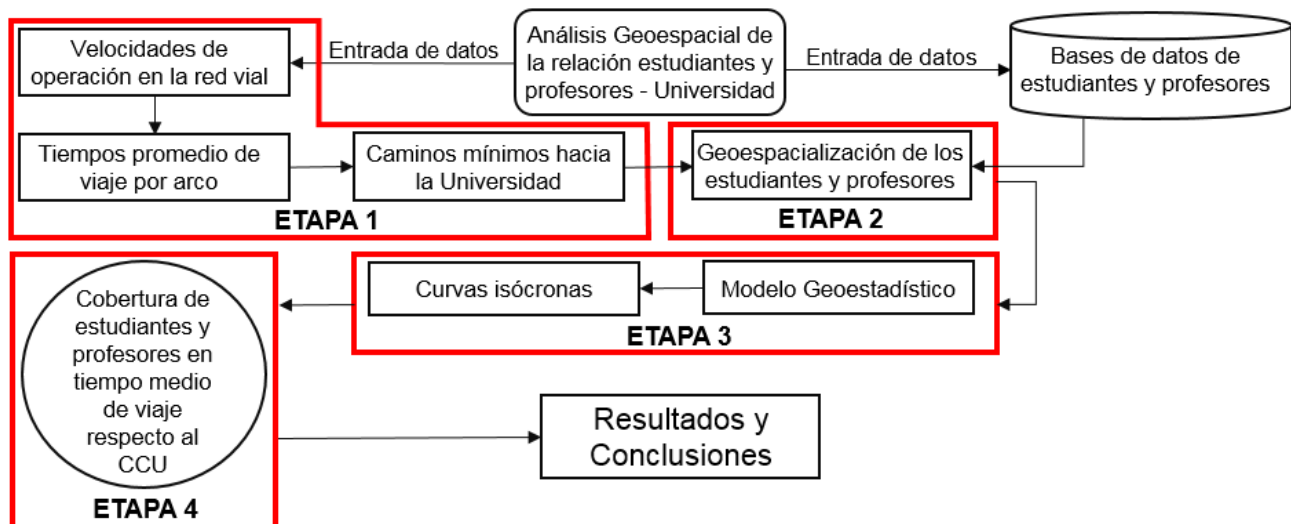


Fig. 2: Metodología aplicada

Etapa 1. Actualización y validación de características operativas de la red de infraestructuras del transporte: En esta etapa se tomó como información primaria la red de infraestructuras del transporte de la ciudad de Manizales (pública y privada), así mismo, se instalaron equipos GPS en diferentes modos (auto, taxi, motocicleta, camión y transporte público urbano). Se contó con 45 automotores pertenecientes a los diferentes modos, los cuales tomaron datos durante seis meses consecutivos, logrando la captura de más de 18 millones de datos de posicionamiento global. Conociendo el modo de transporte en el cual se instaló el GPS, se obtiene un número secuencial de datos con su respectiva localización (Longitud, latitud) y la hora-minutos-segundos-décimas de segundo. Todos los recorridos almacenados en archivos csv, fueron

procesados por medio de algoritmos para obtener la velocidad promedio existente entre cada par de nodos (intersecciones viales) unidas por un arco (segmento de vía o calle). Se contó con una precisión de los equipos GPS de ± 3 metros. El proceso de validación de la información consistió en verificar la estructura de la base de datos, el sistema de coordenadas, el tiempo entre dato y dato, la secuencia de datos, el formato de los archivos, la precisión prevista, etc. El grafo se usó para el cálculo de la Accesibilidad Media Integral a partir de datos de velocidad de operación, mediante el cálculo de caminos mínimos entre cada par de nodos; entendiendo como camino mínimo el camino más corto, medido en tiempo, entre cada par de nodos. El grafo actual está compuesto por más de 12,000 arcos y más de 8,500 nodos.

Etapa 2. Geoespacialización de estudiantes y docentes de la Universidad de Caldas: La segunda etapa se relaciona con la georeferenciación del lugar de residencia de los estudiantes y docentes de la Universidad de Caldas; a partir de información secundaria fue posible ubicar los lugares de residencia de una muestra aleatoria y representativa de estudiantes y docentes, teniéndose en cuenta el estrato socioeconómico.

Etapa 3. Cálculo de la Accesibilidad Media Integral: La tercera etapa es la relacionada con el cálculo de la Accesibilidad Media Integral ofrecida por la red de infraestructuras de transporte actual y los cálculos de las curvas isócronas referenciadas con punto de origen el CCU y la sede central de la Universidad de Caldas; ésta accesibilidad se analizó a partir del vector de tiempo medio de viaje (T_{vi}). Para los cálculos se usaron los módulos Network Analyst y Spatial Analyst del software ArcGis 10.2.1.

Etapa 4. Análisis de Coberturas: La cuarta etapa abarca el cálculo de los porcentajes de área, población y número de viviendas que son cubiertas por las curvas isócronas generadas en el análisis de accesibilidad media integral. Se relaciona la configuración de las curvas con los datos sociodemográficos de la ciudad y los datos geoespacializados de estudiantes y docentes. Los datos socioeconómicos y demográficos de la ciudad utilizados en la investigación son los publicados de forma oficial por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE (<http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>), son de origen censal, público y de alcance municipal.

FORMULACIÓN DEL MODELO

Para el cálculo de la accesibilidad desde los lugares de residencia de los estudiantes y de los docentes, con fines de modelación, se asumen como válidos y datos oficiales los valores de velocidad de operación establecidos en el Plan de Movilidad vigente (Alcaldía de Manizales, 2011), lo cual permitió calcular los tiempos medios de viaje sobre la red entre los nodos objetivo (CCU y sede central de la Universidad de Caldas) y los demás nodos del grafo. El modelo que a continuación se formula se basa en el propuesto por Shen (2002), el cual ha sido ajustado en esta investigación con fines de cálculo de cobertura espacial.

Denotando $i \in I$, $i = \{1, 2\}$ como el conjunto de nodos objetivo, I . Así mismo, denotando $l \in L$ como el tipo de usuario a analizar, $l = \{1, 2\}$, estudiante o docente. Definiendo $j \in J$ como las unidades de vivienda, $j = \{1, 2, 3, \dots\}$. De forma semejante, se define $k \in K$ como los estratos de las unidades de vivienda $k = \{1, 2, 3, \dots\}$, en el conjunto estrato, K . También, se tiene la variable de decisión $X_{ij}^{lk} = 1$ si el nodo objetivo i para un tipo de usuario l pertenece a una unidad de vivienda j de un estrato k ; $= 0$, en cualquier otro caso. D_{ij}^{lk} = camino mínimo entre un nodo i y un nodo j en la red de transporte. T^{lk} = valor de la función objetivo (Ver expresiones (1), (2) y (3)).

Minimizando, queda:

$$T^{lk} = \sum_i \sum_j D_{ij}^{lk} X_{ij}^{lk} \quad (1)$$

De tal forma que,

$$\sum_i \sum_j X_{ij}^{lk} = J^k \text{ para } l \in L, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_i X_{ij}^{lk} = 1, \text{ para } j \in J, l \in L, k \in K \quad (3)$$

La función objetivo es minimizar el tiempo medio de viaje (T^{lk}) desde las unidades de vivienda según el estrato y según el tipo de usuario a los dos nodos objetivo (CCU y sede central de la Universidad de Caldas). Es de notar que la mayor impedancia es entonces la velocidad de operación sobre cada arco y no la distancia entre nodos; el modelo asume que todas las unidades de vivienda identificadas sin importar el tipo de usuario o el estrato, podrán conectarse con alguno de los dos nodos objetivo por alguno de los modos de transporte disponibles. Posteriormente, a partir de los datos geoespacializados de estudiantes y

docentes, se calculó el promedio de estudiantes y docentes según el género, la edad, el estrato socioeconómico, el programa curricular y el modo de transporte usado, estadística descriptiva que contribuye al análisis geoestadístico y a la proyección de valores de tiempo medio de viaje en coordenadas que no pertenecen directamente al grafo estudiado, sino al espacio geográfico como tal.

Tiempo promedio agregado T_{avg}^{lk} :

$$T_{avg}^{lk} = \frac{T^{*lk}}{\sum_i \sum_j X_{ij}^{*lk}} = T^{*lk} / J^k, \text{ donde } T^{*lk} \text{ ó } X_{ij}^{*lk} = \text{función objetivo óptima ó valor de decisión variable.} \quad (4)$$

Máximo tiempo de viaje T_{max}^{lk} :

$$T_{max}^{lk} = \text{Max}(D_{ij}^{lk} X_{ij}^{*lk}), \text{ donde } X_{ij}^{*lk} = 1 \quad (5)$$

Tiempo de viaje mínimo T_{min}^{lk} :

$$T_{min}^{lk} = \text{Min}(D_{ij}^{lk} X_{ij}^{*lk}), \text{ donde } X_{ij}^{*lk} = 1 \quad (6)$$

Rango máximo de tiempo de viaje R^{lk}

$$R^{lk} = T_{max}^{lk} - T_{min}^{lk} \quad (7)$$

Desviación estándar de la muestra T_{sd}^{lk} :

$$T_{sd}^{lk} = \sqrt{[\sum_i \sum_j (D_{ij}^{lk} X_{ij}^{*lk} - D_{avg}^{lk})^2] / (J^k - 1)}, \text{ donde } X_{ij}^{*lk} = 1 \quad (8)$$

Varianza de la muestra, a partir del cual se construye el semivariograma T_{var}^{lk} :

$$T_{var}^{lk} = \frac{[\sum_i \sum_j (D_{ij}^{lk} X_{ij}^{*lk} - D_{avg}^{lk})^2]}{J^k - 1}, \text{ donde } X_{ij}^{*lk} = 1 \quad (9)$$

La Accesibilidad Media Integral expresa que tan accesible, en términos de tiempo medio de viaje, es un sitio (nodo) o conjunto de sitios en relación con la red de infraestructuras, esto permite conocer los sectores de una ciudad que dadas las características operativas de su red de transporte, refieren deficientes condiciones de accesibilidad en relación con un sitio en particular; un ejemplo claro de aplicación sería el conocer las áreas de una ciudad que pueden tener una atención de emergencia en un tiempo medio de cinco minutos a partir de un sitio específico (e.g. estaciones de bomberos, estaciones de policía, estaciones de ambulancias, etc.). Ésta se analizó en base a la Expresión (10), en donde el vector T_{vi} representa el tiempo promedio de viaje desde el nodo del CCU hasta los demás nodos de la red. Teniendo todos los arcos de la red de infraestructuras cargados con las características operativas (velocidad media de operación) y con la matriz de impedancias (distancias mínimas), se calcula la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, minimizando el tiempo entre los nodos objetivo y los demás nodos de la red de infraestructuras.

$$\overline{T_{vi}} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{vi}}{(n-1)}, \text{ siendo } i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (10)$$

Donde, T_{vi} = tiempo de viaje mínimo promedio entre el nodo i y los demás nodos del grafo; n = número total de nodos del grafo.

El vector de Tiempos Mínimos de Viaje está representado por una matriz de tamaño $n \times 1$, la cual se relaciona con las coordenadas (longitud y latitud) de cada nodo de la red generándose una nueva matriz de tamaño $n \times 3$. Es a partir de esta matriz que es posible calcular las curvas isócronas para el análisis de la accesibilidad media integral. El modelo geoestadístico Kriging ordinario con semivariograma lineal fue el escogido para la predicción de la variable TMV a lo largo y ancho de la ciudad. Finalmente, mediante el uso del SIG, y con la información sociodemográfica del área de estudio (39.3 Km², zona urbana de los municipios de Manizales y Villamaría), cuya población asciende a 404,805 habitantes, distribuidos en 95,361 unidades de vivienda, se estimó el porcentaje de población, área y número de viviendas, que se encontraban cubiertos por las curvas de tiempo medio de viaje desde los nodos objetivo.

La metodología aplicada toma las velocidades de operación promedio de los arcos que componen la red, lo cual se establece como un efecto simplificador en relación con la aplicación del modelo propuesto, ya que se está homogenizando el tiempo medio de viaje de todos los modos de transporte en un solo valor; esta situación debe tenerse en cuenta al momento de tomarse los resultados del presente modelo como base en procesos de planificación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Accesibilidad Media Integral ofrecida por la red vial actual.

En la Figura 3 se observan las curvas isócronas en términos de Accesibilidad Media Integral para la ciudad de Manizales respecto a la ubicación geoespacial de los nodos objetivo (CCU y sede central de la Universidad de Caldas). Se observa, de forma general, que desde los nodos objetivo (sector sombreado con rojo), las condiciones de accesibilidad media integral son más desfavorables hacia el occidente que hacia el oriente, refiriendo una conexión más adecuada con dicho sector de la ciudad. Como resultado del análisis de cobertura, se obtuvo que la curva de 30 a 35 min. es la que mayor porcentaje de área cubierta refiere con un 16.7% del área urbana total; entre las curvas de 25 y 30 min., se obtuvo el mayor porcentaje de población (21.2% de la población total); resultado semejante se obtuvo para el caso del número de viviendas, encontrando que es entre las curvas de 25 a 30 min. que se reporta el mayor cubrimiento con el 18.2%. En la Figura 4a se observa la distribución de área, población y número de viviendas cubiertas según los intervalos de curvas isócronas.

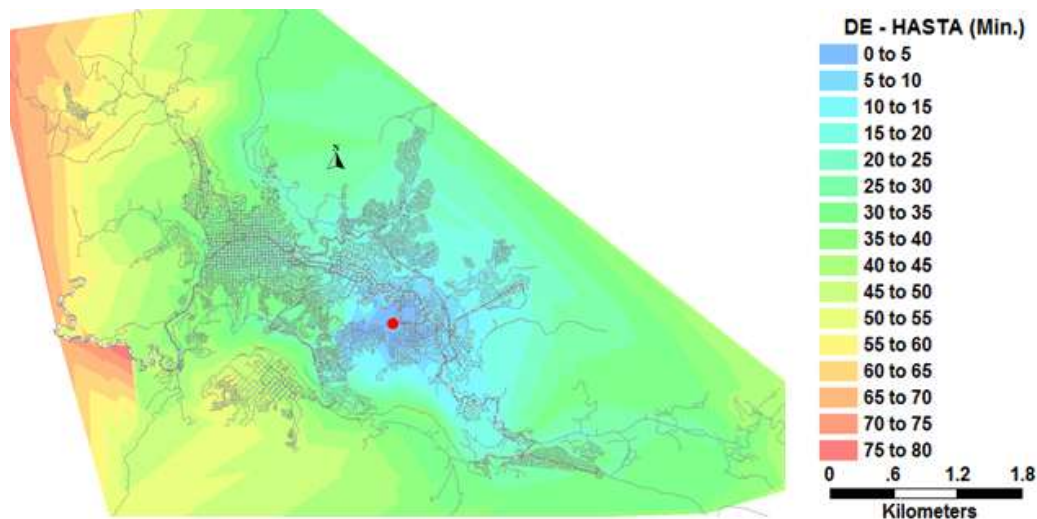


Fig. 3: Accesibilidad Media Integral para la ciudad de Manizales respecto a los nodos objetivo.

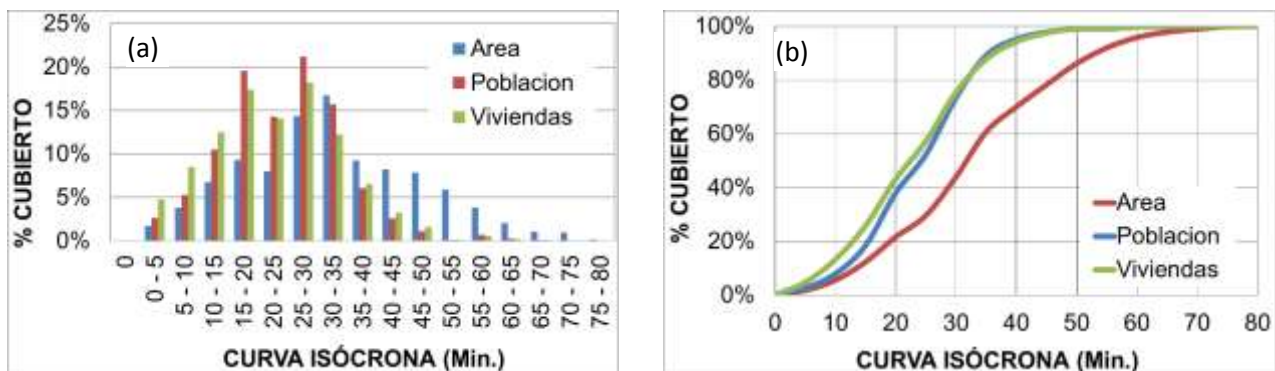


Fig. 4: a) Distribución porcentual de área, población y número de viviendas cubiertas por las curvas isócronas; b) Ojiva porcentual de área, población y número de viviendas cubiertas por las curvas isócronas.

Se tiene que sólo la variable población supera en un rango de tiempo en particular una cobertura del 20%; por otra parte, estudiando en más detalle el comportamiento de la variable población en conjunto con la variable número de viviendas, es posible concluir que para tiempos medios de viaje de hasta 15 min., hay más cobertura de viviendas que de población, es decir, las zonas donde se observan estas curvas muestran bajas densidades poblacionales (típicas de estratos altos) si se compara con el comportamiento de las variables en el rango de 20 a 35 min. En la Figura 4b se observa la ojiva porcentual de las variables área, población y número de viviendas que son cubiertas por las curvas isócronas obtenidas. El P25, indica el

tiempo medio de viaje que debe ser invertido para cubrir por lo menos un 25% de las variables estudiadas; se encontró que para la variable área, se deben invertir unos 22.2 min., para la variable población 15.9 min., mientras que para la variable número de viviendas 14.8 min. Para P50, se obtuvieron tiempos medios de viaje de 32.8 min., 24.2 min. y 22.3 min. para las variables área, población y número de viviendas, respectivamente.

Análisis de docentes

La Universidad de Caldas posee actualmente 912 docentes (base de datos facilitada por la universidad). A partir de un muestreo estratificado con fijación proporcional, se estableció que geoespacializando el 30% de los datos (274 docentes), se tendría una muestra representativa, con una confiabilidad del 95%, una margen de error de máximo del 5%, una proporción estimada (varianza) del 50%, lo que garantiza el mayor tamaño muestral posible. La muestra se calculó tomando como criterio seleccionador el estrato (la estratificación social en Manizales va de 1 a 6 según la capacidad económica del barrio o sector, siendo 1 zonas de baja capacidad y 6 zonas de alta capacidad) y el programa curricular al cual pertenece el docente para luego seleccionar el número de docentes de forma aleatoria.

Al relacionar las curvas de tiempo medio de viaje calculadas desde los nodos objetivo (Ver Figura 5a) con la ubicación geoespacial de los docentes, se obtuvo que el 19% de éstos están cubiertos por la curva de tiempo medio de viaje de entre 5 y 10 min., encontrando que un poco más del 48% de los docentes deben invertir hasta 15 minutos de tiempo medio de viaje para llegar hasta los nodos objetivo. En la Figura 5a se presenta la distribución porcentual del número de docentes según los rangos de tiempo medio de viaje que deben ser invertidos para alcanzar los nodos objetivo. Se encontró que los rangos de 5 a 10 min. y de 10 a 15 min. son los únicos dos rangos que superan un 15% de cobertura en el número de docentes. Haciendo un análisis del porcentaje acumulado de docentes según la curva isócrona que les cubre (Ver Figura 5b), los resultados muestran que para el P25 el tiempo medio de viaje es de 9 min., para el P50 es de 16 min. y para el P75 es de 29 min.

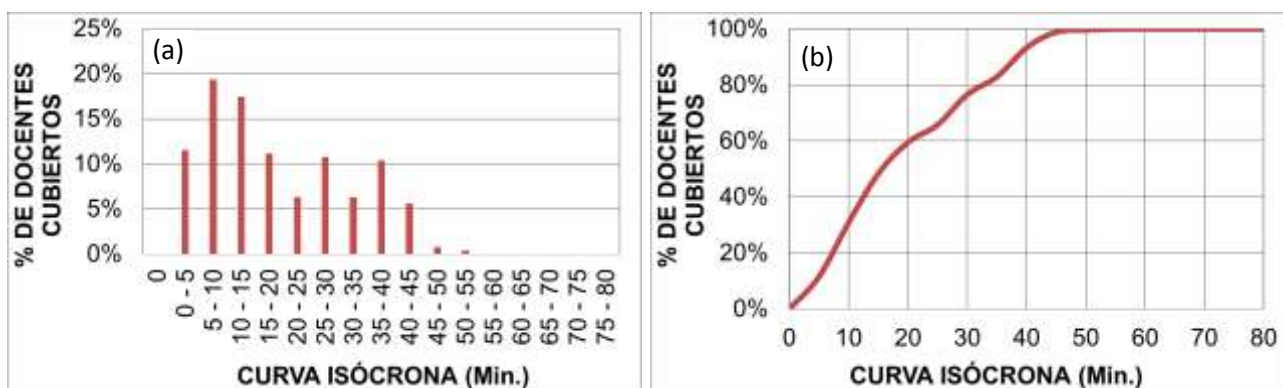


Fig. 5: a) Distribución porcentual de docentes según el tiempo medio de viaje; b) Ojiva porcentual de docentes cubiertos por las curvas isócronas.

En la Figura 6 se observa un mapa, clasificando los barrios y las comunas de Manizales según exista un mayor o menor porcentaje de docentes; la comuna Palogrande (sombreada en rojo) es la que refiere un mayor origen de viajes por parte de los mismos, teniendo que dicha comuna, los estratos predominantes son el 5 y el 6.

Análisis de estudiantes.

La Universidad de Caldas posee actualmente un total de 13,751 estudiantes (base de datos facilitada por la universidad). Tomando el estrato socioeconómico como criterio para el análisis de la muestra a geoespacializar, se tiene un total de 9,746 estudiantes susceptibles de análisis, es decir, del total de estudiantes de la Universidad de caldas, hay 4,005 que tienen la información de residencia fuera de la ciudad. A partir de un muestreo estratificado con fijación proporcional, se estableció que geoespacializando el 6% de los datos (586 estudiantes), se tendría una muestra representativa, con una confiabilidad del 95%, una margen de error de máximo del 5%, una proporción estimada (varianza) del 50%, lo que garantiza el mayor tamaño muestral posible. La muestra se calculó tomando como criterio seleccionador el estrato (la estratificación social en Manizales va de 1 a 6 según la capacidad económica del barrio o sector, siendo 1 zonas de baja capacidad y 6 zonas de alta capacidad) y el programa curricular al cual pertenece el estudiante para luego seleccionar el número de estudiantes aleatoriamente.

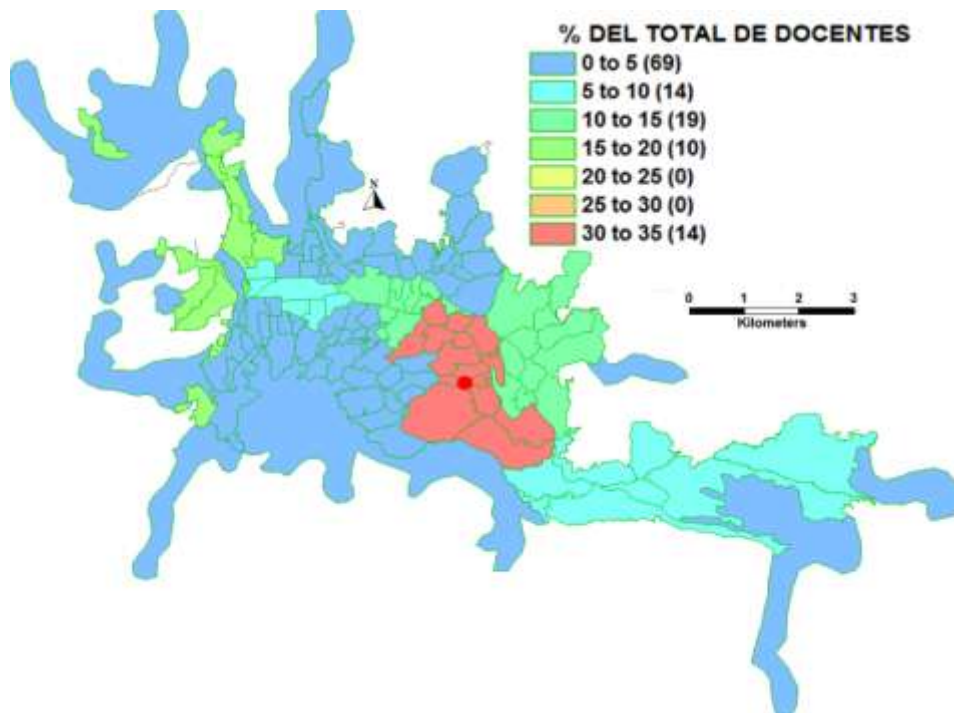


Fig. 6: Porcentaje de docentes según la comuna.

Al relacionar las curvas de tiempo medio de viaje calculadas desde los nodos objetivo (Ver Figura 7a) con la ubicación geoespacial de los estudiantes de la Universidad de Caldas, se obtuvo que el 21% de éstos se encuentran cubiertos por la curva isócrona de entre 25 y 30 minutos. Tomando un tiempo de desplazamiento de hasta 15 minutos, se cubre tan sólo el 23% de los estudiantes, valor menor al obtenido para los docentes (48%).

En la Figura 7a se observa la distribución porcentual del número de estudiantes según los rangos de tiempo medio de viaje que deben ser invertidos para alcanzar los nodos objetivo, encontrándose que el único rango de tiempo medio de viaje que supera el 20% de cobertura es el 25 a 30 min.; en la Figura 7b se observa la ojiva porcentual de estudiantes cubiertos por las curvas isócronas, obteniendo para el percentil 25 un valor de 16 min., para el percentil 50 un valor de 25 min. y para el percentil 75 un valor de 31 min.

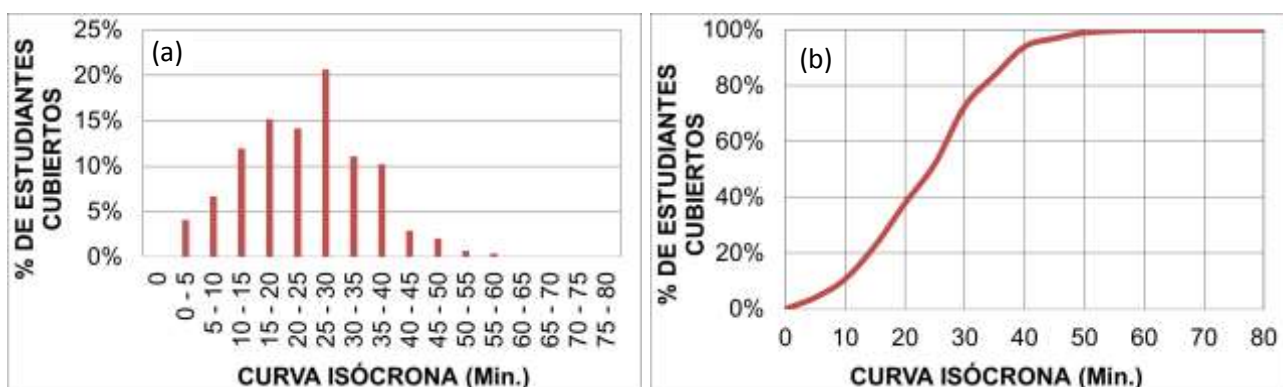


Fig. 7: a) Distribución porcentual de estudiantes según el tiempo medio de viaje; b) Ojiva porcentual de estudiantes cubiertos por las curvas isócronas.

Por otra parte, en la Figura 8 se presenta un mapa clasificando los barrios y comunas de Manizales según exista un mayor o menor porcentaje de estudiantes, encontrando que la comuna Ciudadela del Norte (Estratos 2 y 3) es la que refiere un mayor origen de viajes por parte de los estudiantes, seguida de la comuna la Fuente (Estrato 3) y la comuna Atardeceres (Estrato 3). De forma preliminar se observa que geoespacialmente, los docentes poseen mejores condiciones de accesibilidad que los estudiantes dada la posición de los nodos objetivo, así mismo, tan sólo al comparar los tiempos que deben ser invertidos para una cobertura del 50% de estudiantes o docentes, 25 min. y 16 min, respectivamente, se refuerza dicha afirmación. Comparando visualmente ambos mapas de distribución porcentual (Ver Figura 6 y Figura 8), se observa que los estudiantes se encuentran distribuidos en la ciudad de una forma relativamente más homogénea que los docentes, teniendo que ninguna de las comunas llega a albergar más del 20% del total de estudiantes, situación que sí se observó en el caso de los docentes.

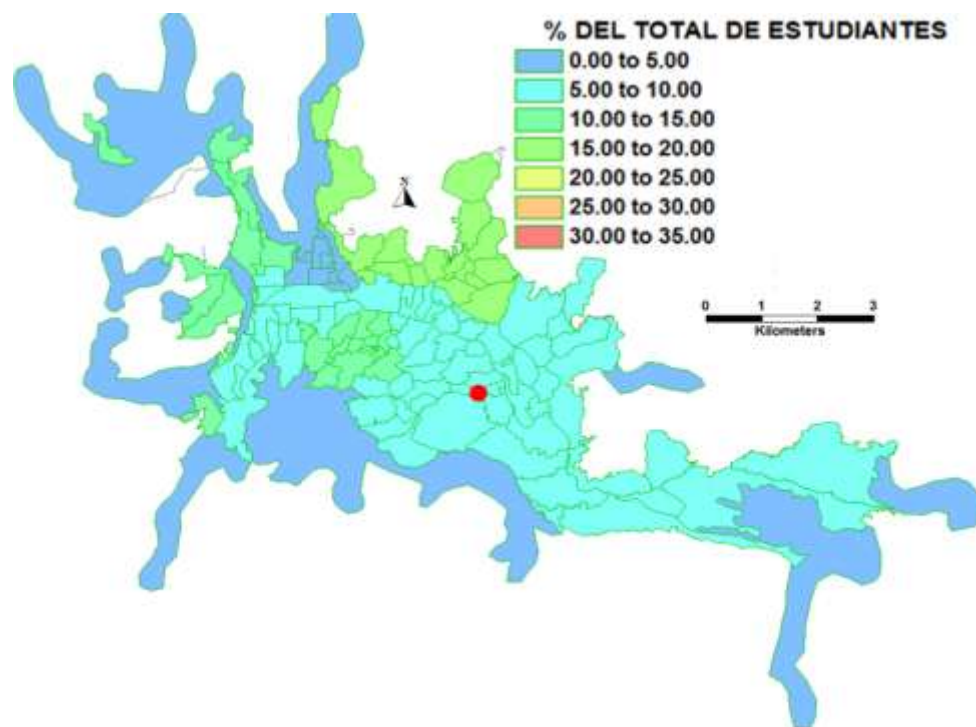


Fig. 8: Porcentaje de estudiantes según la comuna.

Analizando la distribución geoespacial de los estudiantes según su estrato socioeconómico, se observa que el 66% de los estudiantes de la Universidad de Caldas pertenecen a los estratos 2 y 3, mientras que tan sólo el 9% de los estudiantes pertenecen a los estratos 5 y 6. En la Figura 9a, se observa la distribución porcentual de los estudiantes según su estrato y según el rango de tiempo medio de viaje. Se obtuvo que para 5 min. de tiempo medio de viaje, el estrato de mayor cobertura es el estrato 6, con un porcentaje del 25%, seguido del estrato 5 con un porcentaje del 10%; invirtiendo un tiempo medio de entre 5 y 10 min., la cobertura del estrato 6 es del 35%, mientras que la del estrato 5 es del 52%. El estrato 2, que precisamente es el de mayor porcentaje de estudiantes, registra su mayor porcentaje de cobertura (26%) entre 15 y 20 min. Por otra parte, en la Figura 9b se observa la ojiva porcentual de estudiantes según el estrato cubierto por las curvas isócronas. Analizando el Percentil 50, se observa que los estudiantes del estrato 6 deben invertir 8 min., los del estrato 5 deben invertir 9 min., los del estrato 2 deben invertir 22 min., los de estrato 3 y 4 deben invertir 26 min. y los de estrato 1 deben invertir 27 min. Ahora bien, para el percentil 75, se tienen los siguientes resultados: los estudiantes del estrato 5 y 6 deben invertir 30 min., los del estrato 4 deben invertir 45 min., los del estrato 1 y 3 deben invertir 50 min., y los del estrato 2 deben invertir 55 min.

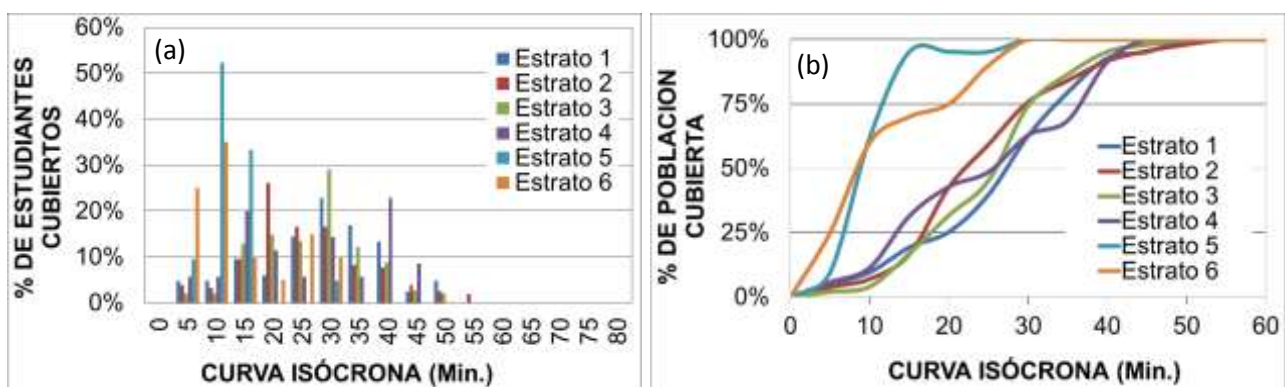


Fig. 9: a) Distribución porcentual de estratos cubiertos por las curvas isócronas para el sistema. b) Ojiva porcentual de cobertura según el estrato del estudiante.

Los anteriores resultados expresan que dada la posición geográfica de los nodos objetivo, dadas las características operativas de la red vial y dados los sitios de residencia de los estudiantes de la Universidad de Caldas, son los estudiantes de estratos altos (5 y 6) los que tienen actualmente una mayor accesibilidad, no obstante representan el menor porcentaje de éstos. Al otro lado de la balanza, se tiene que para el estrato de mayor porcentaje de estudiantes (estrato 2), se tienen las peores condiciones de accesibilidad a los nodos objetivo, lo cual es consecuencia tangible de una deficiente prestación de servicio de los diferentes modos de transporte que llegan al sector.

Análisis comparativo de accesibilidad estudiantes y docentes

A continuación se realiza una comparación de porcentajes de cobertura según el tiempo medio de viaje para cuatro grupos de población: docentes, estudiantes regulares, estudiantes graduados y población total de la ciudad de Manizales. En la Figura 10a se observa que la población de docentes reporta porcentajes de cobertura superiores para tiempos medios de viaje bajos, por ejemplo, se aprecia que para el rango de tiempo de entre 5 y 10 min., la cobertura es casi del 20% del total de docentes, mientras que para las otras tres variables, en este mismo rango de tiempo, la cobertura de población no llega al 8%. Se observa que la mayor cobertura para la población de estudiantes regulares, estudiantes graduados y la población de la ciudad, se obtiene en el período de tiempo entre 25 y 30 min., con un porcentaje superior al 20%.

Realizando un análisis acumulado (Ver Figura 10b) de las coberturas para cada tipo de población analizada, se observa que la ojiva de docentes muestra unas mejores condiciones de cobertura que para los otros tipos de población, por ejemplo, se obtuvo que desde los nodos objetivo, se cubre el 50% de los docentes si se invierten 16 min., para el caso de estudiantes regulares y la población de Manizales, el mismo porcentaje se cubre si se invierten 25 min., finalmente, para la población de estudiantes graduados, se cubre el mismo porcentaje invirtiendo 26 min. Se tiene entonces que desde el punto de vista de la posición geoespacial de los nodos objetivo, los que refieren una mejor accesibilidad son los docentes, mientras que los estudiantes se encuentran distribuidos semejante a la distribución de la población general de la ciudad.

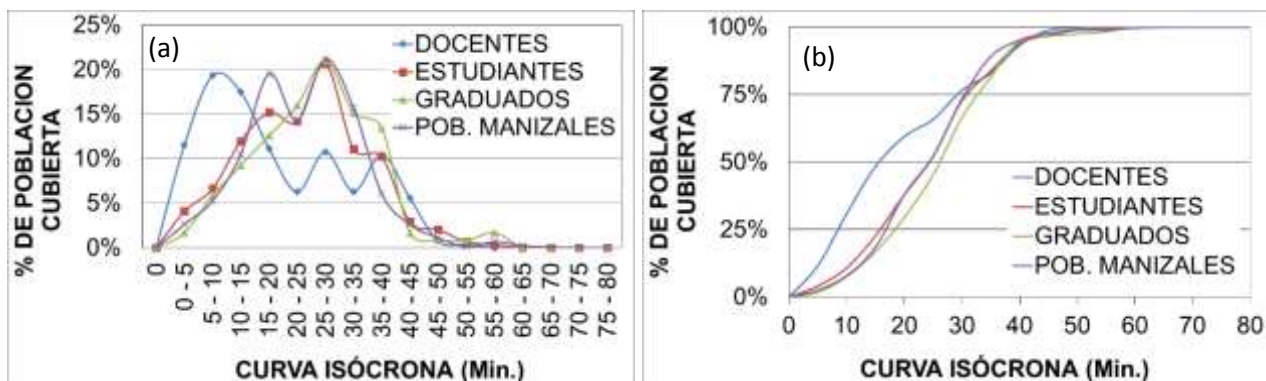


Fig. 10: a) Comparación del % de cobertura según el tipo de población; b) Ojiva porcentual de cobertura según tipo de población.

CONCLUSIONES

Se concluye que desde el punto de vista de la posición geoespacial de la sede principal de la Universidad de Caldas y del futuro CCU, son los docentes quienes gozan de unas mejores condiciones de accesibilidad, ya que en términos promedio, los estudiantes deben invertir un 50% más de tiempo medio de viaje para llegar a los nodos objetivo. Se encontró que son los estudiantes de estratos altos (5 y 6) los que tienen actualmente una mayor accesibilidad, no obstante representan el menor porcentaje del total de estudiantes de la Universidad de Caldas. Al otro lado de la balanza, se tiene que para el estrato de mayor porcentaje de estudiantes (estratos 2 y 3), se tienen las peores condiciones de accesibilidad, lo cual es consecuencia tangible de una deficiente prestación de servicio de los diferentes modos de transporte que llegan a dicho sector universitario. Deben mejorarse las condiciones de accesibilidad para la población estudiantil, lo que puede lograrse a través de una reestructuración de rutas de transporte público colectivo urbano, mejorando no sólo los tiempos medios de viaje sino también la calidad en la prestación del servicio el cual puede ser medido a través de la técnica "Bottom Up" que cuantifica variables complejas que representan el comportamiento dinámico y estático del transporte público colectivo urbano (Callejas-Cuervo et al., 2014).

Dada la posición geoespacial de docentes y estudiantes (residencia), es importante seguir impulsando la red de ciclorutas municipal, lo cual se articula adecuadamente con la actual política de movilidad sustentable que es apoyada por la Universidad de Caldas, situación que beneficiaría a estudiantes, docentes y población en general, ya que se generaría un trasvase de modos de transporte. Los docentes, al residir en mayor porcentaje en zonas cercanas a los nodos objetivo, deben ser la población en la que con mayor fuerza se debe impulsar el uso de transporte autónomo (peatón, bicicleta).

Vale la pena ampliar este tipo de investigación a otros centros de educación que impriman a la movilidad fuertes tendencias, con la finalidad de proponer diferentes modelos de transporte que atenúen los impactos que actualmente genera el creciente uso del vehículo privado. En la ciudad de Manizales en particular, existen aproximadamente doce (12) instituciones de educación superior, que serían susceptibles de ser

analizadas desde esta metodología. Se concluye que por medio de los SIG es posible comprender con más detalle las características de accesibilidad ofrecidas por una infraestructura de movilidad de una ciudad, dada la capacidad de almacenamiento de información e integración de modelos relacionados con el territorio (Gómez, 2005).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de Caldas por su invaluable colaboración y apoyo para la ejecución de este artículo de investigación, así como a los estudiantes pertenecientes al Grupo de Investigación Environmental, Energy and Education Policy – E3P de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, quienes se vincularon al mismo a través del semillero de investigación en Movilidad Sostenible.

REFERENCIAS

Alcaldía de Manizales, Secretaría de Tránsito y Transporte, *Plan de Movilidad de la ciudad de Manizales 2010 – 2040*. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales. Manizales, Colombia (2011)

Batty, M., *Accessibility: in search of a unified theory*, doi: 10.1068/b3602ed, Environment and Planning B: Planning and Design, 36, pp. 191-194, (2009)

Botero, R., Murillo, J. y Jaramillo, C., *Decision strategies for evaluating pedestrian accessibility*, <http://www.scielo.org.co/>, ISSN: 0012-7353, Revista Dyna, 78 (168), pp. 28-35 (2011)

Burkey, M., *Decomposing geographic accessibility into component parts: methods and an application to hospitals*, doi: 10.1007/s00168-010-0415-3, Annals of Regional science, 48 (3), pp. 783 – 800 (2012)

Callejas-Cuervo, M., Valero-Bustos, H. y Alarcón-Aldana, A., *Agentes de software como herramienta para medir la calidad de servicio prestado en un sistema de transporte público colectivo urbano*, doi: 10.4067/S0718-07642014000500020, Información tecnológica, 25(5), 147-154 (2014)

Cardona, L.F., *Tras la pista de una ciudad universitaria*, (en la web: <http://historico.cartauniversitaria.unal.edu.co/ediciones/38/14carta.html>, acceso: 4 de agosto 2015), Agencia de noticias Universidad Nacional de Colombia, Unimedios, Colombia (2008)

Escobar, D. y García, F., *Territorial Accessibility Analysis as a Key Variable for Diagnosis of Urban Mobility: A Case Study Manizales (Colombia)*, doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1114, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 48 (0), pp. 1385-1394, (2012)

Escobar D., García F. y Tolosa R., *Análisis de Accesibilidad Territorial a Nivel Regional*, 1ª Edición, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales, Colombia (2013)

Escobar, D., García, F. y Tolosa, R., *Diagnóstico de la Movilidad urbana de Manizales*, 1ª Edición, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales, Colombia (2012)

Escobar, D.A.; Tapasco, O.A. y Giraldo, J.A., *Medición de Desempeño del Sistema de Transporte Cable Aéreo de la Ciudad de Manizales en Colombia, usando Tres Enfoques: Analítico, Simulado y de Accesibilidad Urbana*, doi: 10.4067/S0718-07642015000600020. Inf. Tecnol. [online]. 26(6), 199-210 (2015)

Gómez, M.L., *Nuevo Sistema de Transporte, sin muchos cambios*, <http://www.lapatria.com/manizales/nuevo-sistema-de-transporte-sin-muchos-cambios-46574;>; Periódico La Patria, Manizales (2013)

Gutiérrez, A. I., *Qué es la movilidad?. Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte*, <http://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/art...#sthash.H4mSOEQg.dpuf>, ISSN: 2027-145X, Rev. Bitácora Urbano Territorial, 21(2), 61-74 (2012)

Gómez, M. y Barredor, J.I. *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*, 2a Edición, 279, Ra-Ma Editorial, Madrid, España (2005)

Halden, D., *The use and abuse of accessibility measures in UK passenger transport planning*, doi:10.1016/j.rtbm.2011.05.001, Transportation Business & Management, 2, 12-19, (2011)

- Higgs, G., Langford, M. y Fry, R., *Investigating variations in the provision of digital services in public libraries using network-based GIS models*, doi:10.1016/j.lisr.2012.09.002, Library & Information Science Research, 35 (1), 24-32, (2013)
- Jones, P., *Developing and applying interactive visual tools to enhance stakeholder engagement in accessibility planning for mobility disadvantaged groups*, doi:10.1016/j.rtbm.2011.08.001, Transportation Business & Management, 2, 29-41, (2011)
- Kastenholz, E., Eusébio, C., Figueiredo, E. y Lima, J., *Accessibility as Competitive Advantage of a Tourism Destination: The Case of Lousã, in Field Guide to Case Study Research in Tourism, Hospitality and Leisure* (Advances in Culture, Tourism and Hospitality Research, Volume 6, K.F. Hyde, C. Ryan and A.G. Woodside (ed.)), doi: 10.1108/S1871-3173(2012)0000006023, Emerald Group Publishing Limited, 369-385, (2012)
- Kotavaara, O., Antikainen, H. y Rusanen, J., *Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland 1970–2007*, doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.10.013 Journal of Transport Geography, 19 (4), 926-935, (2011)
- López, E., Gutierrez, J. y Gómez, G., *Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investment: an accessibility approach*, doi: 10.1080/09654310701814629, European Planning Studies, 16 (2), 277–301, (2008)
- Mackinnon, D., Pirie, G. y Gather, M., *Transport and economic development*. In R. Knowles, J. Shaw, & I. Docherty, Editors, *Transport Geographies: Mobilities, Flows and Spaces* (10-28). Blackwell Publishers, Oxford, (2008)
- MCV, *Informe de Calidad de Vida Manizales 2015*, <http://manizalescomovamos.org/wp-content/uploads/2015/07/Informe-completo-2015.pdf>; Manizales Como Vamos, Manizales (2015)
- Moreno, A., *En torno a los conceptos de equidad, justicia e igualdad espacial*, <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/huellas/n11a09moreno.pdf>; ISSN 0329-0573, Rev. Huellas, 11, 133-142, (2007)
- Moreno, A. y Angulo, J. V., *Desequilibrios y reequilibrios intrametropolitanos: principios de evaluación y metodología de análisis*, https://www.uam.es/personal_pdi/filoyletras/juvian/publicaciones.htm, ISSN: 1133-4762 Ciudad y Territorio Estudios Territoriales, 41(160), 233 (2009).
- Morris, J., Dumble, P. y Wigan, M., *Accessibility indicators in transport planning*, doi:10.1016/0191-2607(79)90012-8, Transportation Research, A, 13, 91-109, (1978)
- Sailer, K., Marmot A. y Penn, A., *Spatial Configuration, Organisational Change and Academic Networks*. ASNA 2012 – Conference for ‘Applied Social Network Analysis’, Zürich, Suiza 4 a 7 Septiembre (2012)
- Sheller, MB. y Urry, J., *The City and the Car*, doi: 10.1111/1468-2427.00276, International Journal of Urban and Regional Research, 24(4), 737-757, (2000)
- Shen, G., *Measuring Accessibility of Housing to Public–community Facilities Using Geographical Information Systems*, doi: 10.1111/1467-940X.00056, Review of Urban & Regional Development Studies 14(3), 235-255 (2002)
- Vega, A., *A multi-modal approach to sustainable accessibility in Galway*, doi: 10.1080/20429843.2011.9727923, Regional Insights, 2(2), 15-17, (2011).
- Venegas, F. R. y Rojas, R. I., *Teoría y Práctica del Ordenamiento y Manejo Sustentable del Territorio: Tijuana-Rosarito-Tecate, Baja California, México*, doi:10.1612/inf.tecnol.4077it.08, Información tecnológica, 20(3), 73-87 (2009)
- Zhang, H. y Gao, Z., *Bilevel programming model and solution method for mixed transportation network design problem*, doi: 10.1007/s11424-009-9177-3, Journal of Systems Science and Complexity, 22 (3), 446-459, (2009)