

# Evolución de la accesibilidad en Manizales (2000 – 2009) y su relación con la construcción de infraestructura del transporte

## Evolution of accessibility Manizales (2000 - 2009) and its relationship with the transport infrastructure construction

Diego Alexander Escobar García. Ph.D.<sup>1\*</sup>; Francisco Javier García Orozco Ph.D.<sup>2\*</sup>; Óscar Correa-Calle. Ph.D (c).<sup>3\*</sup>.

<sup>1</sup>Docente Investigador, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales - Colombia. \*daescobarga@unal.edu.co

<sup>2</sup>Docente Investigador, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales - Colombia. \*fjgarciaor@unal.edu.co

<sup>3</sup>Docente Investigador, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales - Colombia. \*oscorrea@unal.edu.co

Fecha de recepción del artículo: 01/06/2013 Fecha de aceptación del artículo: 31/06/2013

### Resumen

En esta investigación, se realizó una evaluación de las condiciones de accesibilidad media global ofrecida por la red vial urbana, entre los años 2000 y 2009. Se estudió la evolución de las curvas isócronas de accesibilidad en tres trienios (2000 - 2003, 2003 - 2006 y 2006 - 2009). En dicho periodo se ejecutaron un total de 35 obras; dos se culminaron en el primer trienio, ocho en el segundo y 25 en el tercero. A partir del procesamiento de los datos recopilados, se analizaron las características de las curvas isócronas para cada período y se obtuvieron datos comparativos entre éstos. La investigación arrojó resultados gráficos muy valiosos, los cuales muestran las zonas de la ciudad que se han visto más beneficiadas como consecuencia de la construcción de nuevas infraestructuras del transporte. Se encontraron ciertas relaciones al comparar los resultados obtenidos, con el uso del suelo o la categoría de la red vial que conecta una zona en particular.

### Palabras clave

Accesibilidad, Evaluación de impacto, GPS, Infraestructura, Planeación del territorio.

### Abstract

This research assesses the accessibility offered by global average urban road network between 2000 and 2009. We study the evolution of accessibility isochronous curves in three periods (2000 - 2003, 2003 - 2006 and 2006 - 2009), between 2000 and 2009 carried out a total of 35 transport construction, 2 were completed in the first period, 8 in the second and 25 in the third. From the processing of the collected data are analyzed isochronous curve characteristics for each period and comparative data are obtained between them. The research gives valuable graphical results showing the areas of the city that have been most benefited as a result of the construction of new transport infrastructure. Finding certain relations when we compare the results obtained with the use of soil or the category of the road network that connects a particular area.

### Keywords

Accessibility, GPS, Impact evaluation, Infrastructure, Land planning.

## 1. Introducción

La ciudad de Manizales se ubica en la región centro occidente de Colombia, entre los 5.4° de latitud norte y 75.3° de Greenwich, (2.150 m.s.n.m.; 37.0000 habitantes aprox.). El desarrollo urbanístico de la ciudad responde a la adaptación a una topografía bastante abrupta, lo que le proporciona una estructura urbana no continua. La planificación territorial (regional y urbana), ha dado bastante importancia al concepto de “accesibilidad” durante las últimas cinco décadas; no obstante, su origen se remonta a los años 20’ cuando se aplicó en áreas como la teoría de la localización y el planeamiento económico regional [1]. Existen diferentes tipos de análisis de accesibilidad que permiten abordar criterios relacionados con sostenibilidad [2, 3], demografía [4], desarrollo económico [5-7], operatividad de modos de transporte [8], análisis de cobertura [9], cohesión social [10, 11], entre otros. Se resalta que los análisis de accesibilidad están siendo cada vez más importantes en la evaluación de planes y proyectos de infraestructura [12], teniendo en cuenta que la mejora de los niveles de accesibilidad, es en varios casos, uno de los principales criterios usados en dichas evaluaciones.

Conociendo un abanico bastante amplio, respecto a la aplicación de medidas de accesibilidad, vale la pena proponer metodologías que busquen la comparación objetiva y real de diferentes modos de transporte, máxime cuando en la actualidad la mayoría de las ciudades en el mundo buscan implementar alternativas de transporte cada vez más sostenibles. Por otra parte, en Manizales se ha venido desarrollando el estudio de las Piezas Intermedias de Planificación (PIP), el cual busca generar una metodología que ofrezca una mayor eficiencia en la planificación urbana, involucrando aspectos tanto de movilidad como urbanísticos. Esta investigación se convierte en un recurso complementario para la definición de las PIP, dado que en la actualidad son muy pocos los ejemplos de aplicación de este tipo de análisis en la ciudad.

## 2. Metodología

La investigación se enmarca dentro del contexto de la teoría de redes. Comenzó durante el segundo semestre del 2009 y se realizó en etapas consecutivas. desde la misma concepción de la idea,; para su desarrollo se tomó información en campo e información secundaria, a partir de fuentes oficiales. Los análisis se fundamentan en métodos cuantitativos y espaciales, los que permiten obtener resultados relevantes sobre las variables de estudio.

La primera etapa, consistió en la obtención de los archivos magnéticos de la red vial de la ciudad de Manizales, correspondientes al año 2000. Posteriormente, mediante la consecución de información secundaria, se obtuvo la ubicación geográfica de las obras de infraestructura que fueron realizadas entre los años 2000 y 2009, con el fin de incorporar al SIG las intervenciones viales respectivas.

En la Figura 1, se observa la ubicación geográfica de las obras de infraestructura realizadas en el período de estudio (un total de 35 obras de infraestructura), respectivamente. Se tomó como hipótesis que la inserción de una obra en particular, impactaba de forma directa las velocidades de operación media de los arcos que se encontraran dentro de los 500 m a la redonda de la misma, procediendo a modificar los datos en los arcos incluidos en dicha área, con el fin de obtener la base de datos discretizada y contextualizada para cada uno de los años de análisis. Éstas conllevaron a un cambio sustancial tanto desde el punto de vista de ordenamiento de la ciudad como de movilidad, siendo este último uno de los objetivos fundamentales de las intervenciones realizadas.

La digitalización de la red vial para los años 2.000, 2.003, 2.006 y 2.009, permitió la modelación de los datos ingresados. La red vial está compuesta por 10.555 arcos y 7.086 nodos, para cada uno de los cuales se relacionan una serie de atributos, entre los cuales se encuentran: la velocidad media de operación en los arcos y el tiempo de recorrido por el camino mínimo entre cada par de nodos. El valor

de la velocidad media de operación en cada arco, fue obtenido a partir del análisis de información de campo, mediante el uso de equipos GPS, realizando un análisis estadístico de los datos y eliminando aquellos considerados atípicos.

Con la base de datos así obtenida, se pasó a la segunda etapa, denominada obtención de la matriz de tiempos medios de viaje entre todos los nodos de la red, lo que permitió, por medio del software geoespacial (Surfer 2009®), aplicar modelos de interpolación para la variable tiempo medio de viaje. Así, se obtuvieron las curvas de accesibilidad media global (isócronas), para cada año de estudio.

En la tercera etapa, se analizó la evolución de las curvas isócronas de accesibilidad para el vehículo privado. También se realizó una comparación entre las curvas isócronas de accesibilidad obtenidas para ambos modos de transporte en el año 2009.

### 3. Resultados y análisis.

En la Figura 2, se observan las curvas isócronas de accesibilidad media global obtenidas para el año 2000 y 2009, respectivamente. De forma general, para ambos años, la ciudad se encuentra cubierta entre curvas isócronas de 15 a 45 min., las cuales ampliaron su área de cobertura a medida que se realizaban nuevas obras de infraestructura. Se encontró correspondencia entre la ampliación de las curvas isócronas con la categorización funcional de la vía, evidenciándose esto de forma más clara en el año 2009. Manizales es considerada por muchos una ciudad monocéntrica; es decir, con un centro generador de actividades que se destaca en el territorio (Punto A y A'), aunque en la actualidad debe empezar a considerarse una ciudad policéntrica, dado que en dirección Oriente (Punto D y D'), a lo largo de los últimos años, se ha comenzado a establecer un importante punto de intercambio

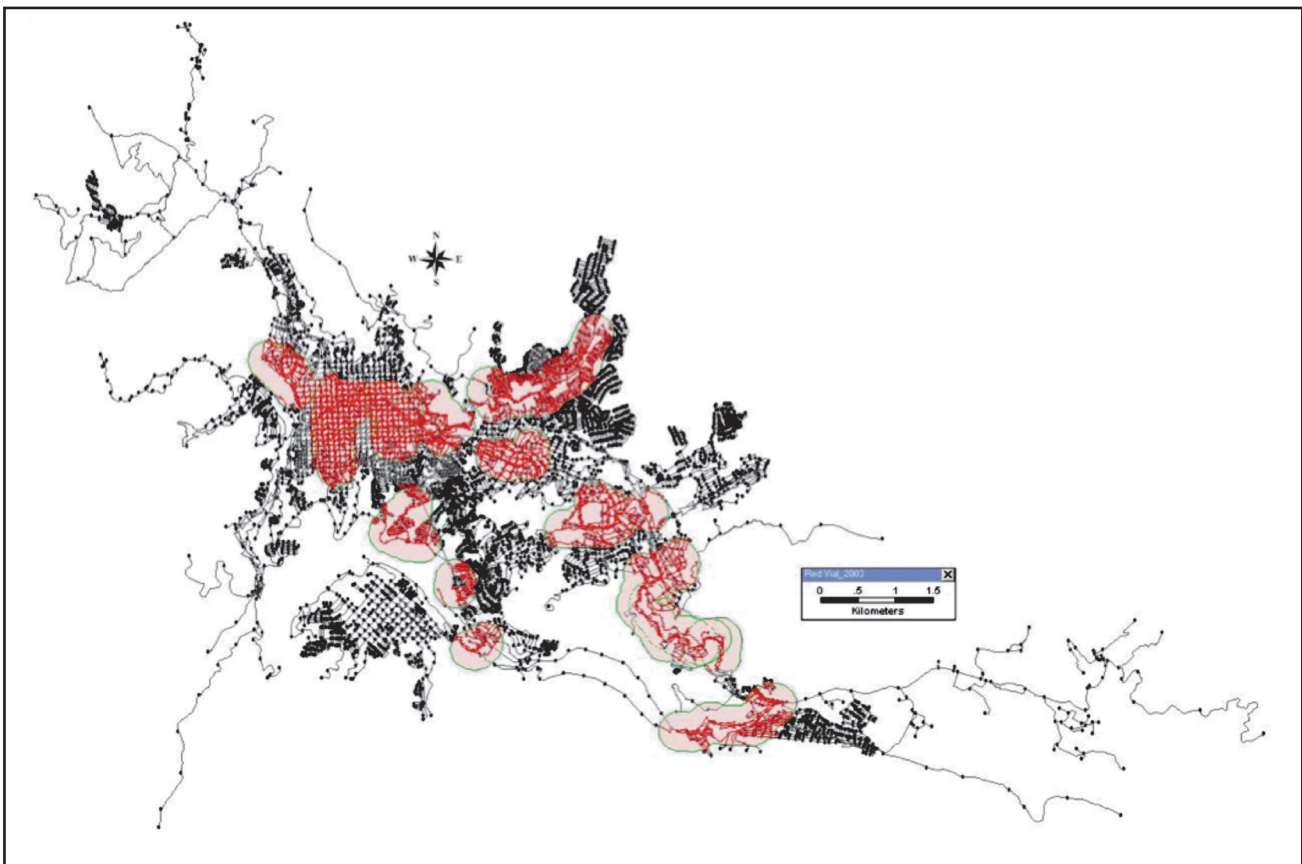


Figura 1. Áreas de influencia directa por obras de infraestructura entre los años 2000 - 2009

económico, representado por la ubicación de múltiples oficinas, centros de compra, lugares de ocio y establecimientos financieros. Se observó entonces, que la dinámica de las curvas isócronas entre los años 2.000 y 2.009, es la de abarcar con menores tiempos de desplazamiento el nuevo polo económico y financiero de la ciudad.

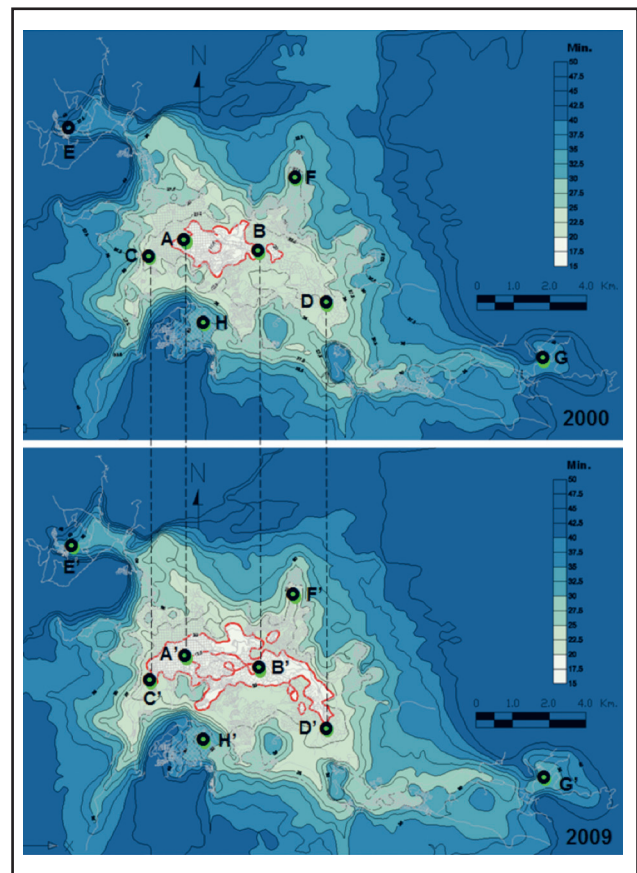
Para ambos años, la zona que ofrece mayor accesibilidad se encuentra cubierta por la curva isócrona de 17.5 min. (línea roja interna), expandiéndose más en dirección Este – Oeste (Puntos A' y B'), que en la dirección Sur – Norte. Es bastante apreciable la diferencia de área cubierta por esta curva isócrona entre los años 2.000 y 2.009 (Puntos A', B' y Puntos A y B de la Figura 2, en donde, para el año 2.000 se encontraron cubiertos por la curva de 20 min., mientras que para el año 2009, se mejoró su accesibilidad a 17.5 min. Al comparar los puntos C' y D', con los puntos C y D (Figura 2), para los años 2.009 y 2.000, se evidenció que la curva isócrona de 20 min. se amplía más en dirección Oeste, en dirección al nuevo polo económico de la ciudad, pasando de cubrir un área de aproximadamente 2.0 Km<sup>2</sup> en al año 2.000, a cubrir un área de 5.3 Km<sup>2</sup> en el año 2.009. El aumento de área cubierta por esta curva isócrona (20 min.), coincide exactamente con la ubicación del principal corredor vial de la ciudad (línea imaginaria que une los puntos CABD), el cual une en dirección Este – Oeste los principales polos económicos de la ciudad (Puntos A y D).

Analizando las zonas periféricas de la ciudad, se observó, que de forma general, han mejorado sus condiciones de accesibilidad, teniendo por ejemplo, que en el sector Este (Punto E), existe una marcada ampliación de la curva isócrona de 35 min. para los años de estudio; similar a lo que sucede para el sector Oeste (Punto G); por su parte, en el sector Norte (Punto F), la curva de 25 min. amplía su cobertura ostensiblemente, siendo este sector uno de los más beneficiados con la inserción de las obras viales entre los años 2.000 y 2.009.

Por su parte, analizando el sector Sur (Punto H), se observa con claridad que la variación de las curvas

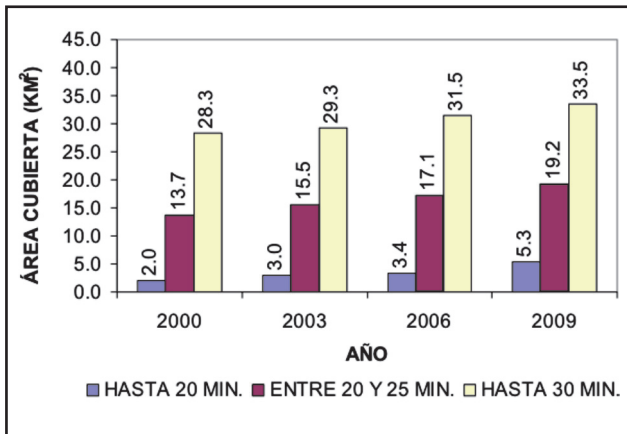
isócronas entre los años 2.000 y 2.009, es prácticamente imperceptible. Dicho sector corresponde al Municipio de Villamaría, el cual a pesar de estar contiguo al municipio de Manizales, no se presenta como gran beneficiado de las obras viales realizadas entre los años 2.000 y 2.009, dado que su red vial se conecta con la del municipio de Manizales, en un solo punto. Es precisamente por la falta de una conexión entre el sector Sureste del municipio de Manizales y el municipio de Villamaría, que éste último no refirió cambios sustanciales en sus tiempos de viaje, evidenciándose entonces que las obras realizadas entre los años 2.000 y 2.009, no impactaron dicha zona.

Como resultado del análisis de las áreas cubiertas por las curvas isócronas de tiempo, se observó en la Figura 3, que la superficie cubierta por éstas, au-



**Figura 2.** Accesibilidad Media Global, años 2000 y 2009, respectivamente. (Kriging Ordinario con modelo de semivariograma esférico)

mentó cada trienio. Así por ejemplo, para el año 2.000, la superficie cubierta por la curva isócrona de 30 min. era de 28.3 Km<sup>2</sup>, mientras que para el 2.009 fue de 33.5 Km<sup>2</sup>. Éste representó un aumento del 18.5%. Una situación similar se obtiene al comparar la evolución de las áreas cubiertas por las curvas isócronas de 20 y 25 minutos, aumentando sus superficies más de 100% para el primer caso, y aproximadamente 40% para el segundo.

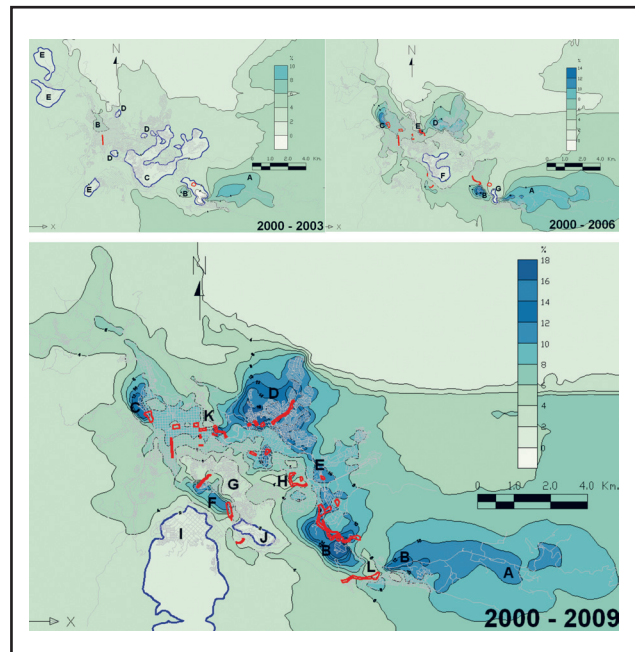


**Figura 3.** Área cubierta por las curvas isócronas de Accesibilidad Media Global en vehículo privado para cada año de estudio.

En la Figura 4, se observan las curvas gradiente relativas para tres (2.000 - 2.003), Seis (2.000 - 2.006) y nueve años (2.000 - 2.009). Las líneas en rojo indican las obras de infraestructuras llevadas a cabo en cada uno de los períodos. Fue posible estudiar la correspondencia entre la ubicación geográfica de las obras y la curva gradiente que le cubría. En aproximadamente una década, la red vial de la ciudad de Manizales fue modificada por un total de 35 obras de infraestructura, en donde aproximadamente el 5% de éstas se realizaron en el primer trienio, el 25% en el segundo trienio y el 70% en el tercer trienio.

Los resultados obtenidos del análisis entre los años 2.000 - 2.003 (Ver Figura 4, 2.000 - 2.003), indican que una gran proporción de la ciudad obtuvo ganancias relativas de tiempo mínimo de viaje entre

el 2% y 4%. Las zonas que mayor ganancia refieren, indican un gradiente superior al 6%, (Punto A); ésta zona en particular, es de uso industrial y residencial de estrato alto. Las zonas referidas por los Puntos B, son residenciales, pero de diferentes estratos; la del sector suroeste es de estrato alto y la del sector noreste de estrato medio. Ambas refieren ganancias relativas de tiempo, superiores al 4%.



**Figura 4.** Curvas gradiente relativas para tres (2000 - 2003), seis (2000 - 2006) y nueve años (2000 - 2009). (Kriging Ordinario con modelo de semivariograma esférico)

Existen zonas de la ciudad (limitadas por una línea azul), que refieren ganancias relativas de tiempo de hasta un 2%. Entre ellas se encuentra una amplia zona central (desde el punto de vista geográfico, Punto C), que evidencia deficiencias en la comunicación en el sentido sureste - noroeste y viceversa. Por su parte, las áreas señaladas por los puntos D, encierran zonas de barrios de bajo estrato socioeconómico. Por último, las zonas periféricas están señaladas por medio de los puntos E.

Por su parte, los resultados obtenidos del análisis entre los años 2000 - 2006 (Ver Figura 4, 2000 -

2006), indican que prácticamente toda la ciudad obtuvo ganancias relativas de tiempo superiores al 2%; no obstante, existen sectores que refieren una ganancia relativa de tiempo superior al 8% (Puntos A, B, C, D y E) y otros que refieren una menor al 2% (línea azul). Las mayores ganancias relativas de tiempo se presentan en áreas de uso industrial (Punto A), residencial de estrato alto (Puntos A y B) y residencial de estrato medio (Punto C y D). Comparando los dos anteriores resultados, vemos como el impacto de las obras desde el punto de vista topológico de la red, es mucho más visible para el período de seis años.

Se encuentran áreas que han mejorado su accesibilidad. Por ejemplo, en la conexión este – oeste por el norte (Puntos C, E y D) y por el sur (Puntos A, B); asimismo, se siguen evidenciando áreas que refieren poca ganancia relativa, las cuales coinciden con áreas residenciales de estrato medio y bajo. Se puede concluir que para el año 2006, las obras de infraestructura impactaron positivamente la ciudad, sobretodo en los sectores norte y suroeste.

Para un período de nueve años, los impactos de las obras de infraestructura son aún más visibles, encontrándose una relación directa, entre la ubicación de las obras de infraestructura y las áreas de ganancia relativa de tiempo superiores al 10% (Puntos A, B, C, D, E, F). Las áreas de la ciudad, que refieren mayor ganancia relativa de tiempo de conexión, se encuentran ubicadas en usos de suelo industrial (Punto A), residencial de estrato alto (Puntos B) y residencial de estrato medio (Puntos C y D); coincidiendo para el análisis de seis y nueve años. Se observa un mayor impacto de las obras en la conexión norte - suroeste (línea imaginaria que une los puntos D, E, B y A), y en menor proporción, la conexión sureste.

Existen áreas en las que el impacto de las obras fue menor al 2% de ganancia relativa de tiempo (Puntos I y J), coincidiendo estas con usos del suelo residencial de estratos medio y bajo. Por su parte, resaltan áreas que refieren una ganancia relativa de tiempo de entre el 2 y el 4%; las cuales coinciden

con uso del suelo residencial de estratos medio y bajo (Puntos G), y uso del suelo educativo (Punto H). Relacionado las anteriores áreas, se evidencia que existe una palpable deficiencia en la conexión sureste – noroeste (línea imaginaria que une los puntos I, F, G, H, E).

Así mismo, se encuentran puntos como el H, K y L, que reflejan cuellos de botella en lo que ha ganancia relativa de tiempo se refiere; indicando esto que son áreas en las cuales se deberá poner atención, respecto a futuras intervenciones de la red vial.

## 4. Conclusiones

La investigación arroja resultados gráficos muy valiosos, los cuales muestran las zonas de la ciudad que se han visto más beneficiadas, como consecuencia de la construcción de nuevas infraestructuras del transporte. Al respecto, se encontraron ciertas relaciones al comparar los resultados obtenidos con, por ejemplo, el uso del suelo o la categoría de la red vial que conecta una zona en particular.

En aproximadamente una década, la red vial de la ciudad de Manizales fue modificada por un total de 35 obras de infraestructura, en donde aproximadamente el 5% de éstas se realizaron en el primer trienio, el 25% en el segundo trienio y el 70% en el tercer trienio.

Entre los años 2.000 y 2.003, el mayor impacto en términos de ganancia relativa de tiempo, se presenta en un amplio sector industrial de la ciudad. Por su parte, las zonas que refieren una menor ganancia relativa de tiempo, son zonas residenciales, que en gran proporción, pertenecen a estratos medios y bajos.

Para el año 2.006, las obras de infraestructura impactaron positivamente la ciudad, sobretodo en los sectores norte y suroeste.

Para el año 2.009, Manizales se cubría entre curvas isócronas de 15 a 45 minutos, al realizarse desplaza-

zamientos en vehículo privado. La expansión de las curvas de mayor accesibilidad entre los años 2.000 y 2.009, resalta más en dirección oeste (hacia el nuevo polo económico de la ciudad), lo cual coincide exactamente con la ubicación del principal corredor vial de la ciudad, que une en dirección este – oeste, que son los principales polos de actividad económica de la ciudad.

Las obras viales realizadas entre los años 2.000 y 2.009, refieren mayores impactos hacia el área periférica del suroeste y hacia el norte. Por su parte, las áreas periféricas del noreste y del sur, refieren un impacto relativamente pequeño, en sus tiempos de viaje en vehículo privado. De forma general, se evidencia que existe una palpable deficiencia en la conexión sureste – noroeste de la ciudad, la cual no ha sido aún planificada.

Se concluye, que este tipo de análisis es un apoyo técnico importante, que en cualquier momento, puede apoyar la toma de decisiones respecto a modificaciones que se deseen realizar a la red vial. Es útil, sobretodo, para establecer en qué áreas de la ciudad se deben potenciar esfuerzos tendientes a ofrecer una mejor accesibilidad y aumentar la calidad de vida de los habitantes.

Futuras investigaciones deberían direccionarse a la aplicación de esta metodología de evaluación de la accesibilidad, en otras ciudades intermedias.

## Referencias

1. Batty, M. Accessibility: in search of a unified theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2009, 36, 191-194.
2. Cheng, J., Bertolini, L. and Clercq, F. Measuring Sustainable Accessibility. *Transportation Research Board: Journal of the Transportation Research Board*. 2007, 2017, 16-25.
3. Vega, A. A multi-modal approach to sustainable accessibility in Galway. *Regional Insights*. 2011, 2(2), 15-17.
4. Kotavaara, O., Antikainen, H., and Rusanen, J. Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland 1970–2007. *Journal of Transport Geography*. 2011, 19(4), 926-935.
5. Rietveld P. and Nijkamp P. Transport and regional development. In: J. Polak and A. Heertje, Editors, *European Transport Economics, European Conference of Ministers of Transport (ECMT)*, Blackwell Publishers, Oxford. 1993
6. Vickerman, R., Spiekermann, K., and Wegener, M. Accessibility and economic development in Europe. *Regional Studies*. 1999, 33(1), 1-15.
7. Mackinnon, D., Pirie, G., and 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.
8. Escobar, D. and García, F. Territorial Accessibility Analysis as a Key Variable for Diagnosis of Urban Mobility: A Case Study Manizales (Colombia). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2012, 48(0), 1385-1394.
9. Straatemeier, T. How to plan for regional accessibility?. *Transport Policy*. 2008, 127-137.
10. Schürman, C., Spiekermann, K. and Wegener, M. Accessibility indicators. *Berichte aus dem Institut für Raumplanung*, 39, IRPUD, Dortmund. 1999.
11. López, E., Gutiérrez, J. and Gómez, G. Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investment: an accessibility approach, *European Planning Studies*. 2008, 16(2), pp. 277–301.
12. Gutiérrez, J., Condeco-Melhorado, A., and Martín, J. Using Accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment. *Journal of Transport Geography*. 2012, 18, 141-152.