

Impactos sobre el tiempo medio de viaje producido por nuevas infraestructuras de transporte. Aplicación en zona urbana

Impact on travel average time produced by transport infrastructure.
Application in urban area

Diego Alexander Escobar García. Ph.D.^{1*}; Francisco Javier García Orozco Ph.D.^{2*}; Oscar Correa Calle^{3*}

¹Docente investigador Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales - Colombia. * daescobarga@unal.edu.co

²Docente investigador Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales - Colombia. * ffgarciaor@unal.edu.co

³Docente investigador Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales - Colombia. Candidato a doctor.

* oscarcorrea@unal.edu.co

Fecha de recepción del artículo: 01/06/2012 Fecha de aceptación del artículo: 08/08/2012

Resumen

Actualmente, el Municipio de Manizales está implementando las llamadas Piezas Intermedias de Planificación –PIP–, las cuales son instrumentos de planeación urbana que normalizan la ocupación del territorio y proponen la construcción de nuevas infraestructuras del transporte, buscando generar una movilidad adecuada, sostenible y eficiente. En esta investigación se aplica una metodología de Análisis de Accesibilidad, basada en las características operativas de la red vial; así mismo, ésta permite establecer cuál es el impacto de un conjunto de obras de infraestructura, dependiendo de variables operativas, creación de nuevos canales de movilidad y la futura densificación poblacional, que tendrían los sectores en los cuales se realizan las obras. Los resultados muestran cómo un conjunto de infraestructuras del transporte, proporcionan una mayor accesibilidad a una zona urbana en particular, relacionando las áreas de mayor ganancia en tiempo medio de viaje con las áreas de mayor densificación poblacional.

Palabras clave

Cobertura espacial, accesibilidad, grafos, evaluación de impacto, movilidad.

Abstract

The Municipality of Manizales is currently implementing the “Piezas Intermedias de Planificación (PIP)”, which are instruments of urban planning that normalize the proposed land use and new transport infrastructure, seeking to generate an adequate mobility, sustainable and efficient. This research applies a methodology based in accessibility analysis in the operating characteristics of road network; also, it allows to compute the impact of a set of transport infrastructure, depending on operating variables, new mobility channels, densification and future population that would have the sectors in which works are being done. The results show how a set of transport infrastructure provide greater accessibility to a particular urban area, linking the areas of greatest gain in average travel time with areas of higher density population.

Key words

Spatial Coverage, accessibility, graphs, impact assessment, mobility.

1. Introducción

La ciudad de Manizales se encuentra ubicada en la región centro occidente de Colombia, a una altura de 2.150 m.s.n.m., sobre la prolongación de la cordillera andina. Se localiza en el centro geográfico de las tres ciudades más importantes de Colombia (Bogotá D.C., Medellín y Cali); a una distancia de 250 km en promedio. La conformación urbanística de la ciudad responde a la adaptación a una topografía bastante quebrada y abrupta, dado su emplazamiento geográfico, lo cual hace que ésta posea características muy particulares.

Los esfuerzos investigativos se enfocaron en la evaluación del impacto respecto a los tiempos medios de viaje, dadas las intervenciones que sobre la red vial se proponen realizar mediante el instrumento de planificación urbana “Piezas Intermedias de Planificación - PIP”, particularmente las PIP 4 y PIP 11 de la ciudad. La información fue procesada y analizada mediante dos software principales, Transcad® y Surfer®, los cuales permitieron definir no sólo las características físicas actuales y futuras de la infraestructura vial, sino que con la aplicación de algoritmos, se obtuvieron las matrices de tiempos medios de viaje y los modelos geoestadísticos de accesibilidad media global, necesarios para la evaluación de dichos impactos.

2. ¿Qué es la accesibilidad?

Un análisis de accesibilidad permite explicar de forma técnica cuáles son las posibilidades de interacción entre los distintos puntos geográficos de un territorio [1], definiéndose ésta como una medida de la facilidad de comunicación entre actividades o asentamientos humanos, utilizando un determinado modo de transporte [2], [3]. Asimismo, permite medir la facilidad o dificultad aportada por las infraestructuras y medios de transporte para llegar a cierto lugar [4] o para la realización de un viaje. De forma general, la accesibilidad es considerada como un importante factor de competitividad [5], teniendo en cuenta que las comunidades más accesibles, son las que han referido, a través del tiempo, un mayor

éxito económico. Es posible establecer que la accesibilidad se encuentra directamente relacionada con la variable “distancia” [6], convirtiéndose en una función que depende de la cercanía de cualquier punto geográfico de un área de análisis; no obstante, es válido afirmar que con los desarrollos tecnológicos actuales, la accesibilidad depende cada vez menos de la distancia real a los centros de actividad y, por el contrario, depende cada vez más de la distancia a las infraestructuras de transportes [7] y de cómo dichas infraestructuras acortan los tiempos de conexión entre las áreas urbanas.

Los análisis de accesibilidad toman cada vez más fuerza en la evaluación de planes y proyectos de infraestructura, teniendo en cuenta que la mejora de accesibilidad es en muchos casos, uno de los criterios tenidos en cuenta en las evaluaciones de impacto [8]. Así mismo, existen análisis de accesibilidad que exploran criterios relacionados con la demografía [9], la cohesión social [10], [11], y el desarrollo económico [12], entre otros.

3. Metodología

En esta investigación se aborda el análisis de la Accesibilidad Media Global ofrecida por la red viaria actual de la ciudad de Manizales, y la evaluación del impacto con respecto a los tiempos medios de viaje que brindaría la ciudad, si se realizan las obras de intervención vial propuestas para las PIP 4 y 11. En la Figura 1 se observa la red vial de la ciudad de Manizales, en la cual se resaltan los proyectos de intervención propuestos por los estudios de las PIP 4 y 11 (líneas en verde). El proceso investigativo estuvo compuesto de tres etapas principales: 1) Georeferenciación de infraestructura faltante y actualización del grafo de la red vial; 2) Definición de las características operativas de la red vial (información secundaria); y 3) Análisis de las matrices y vectores de tiempos medios de viaje.

Para la actualización de la red vial, se debía contar con una red de infraestructuras de transporte actualizada y para ello fue necesario realizar un reajuste en los arcos que componen el grafo que

define la red vial, en base a los datos geográficos proporcionados por los documentos de los Estudio de las Piezas Intermedias de Planificación 4 y 11 de la ciudad de Manizales. La velocidad de operación para la red vial, fue tomada como información secundaria de los datos proporcionados en las Fases de Diagnóstico 0 y 1 del Plan de Movilidad de Manizales de 2005 [13], realizado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

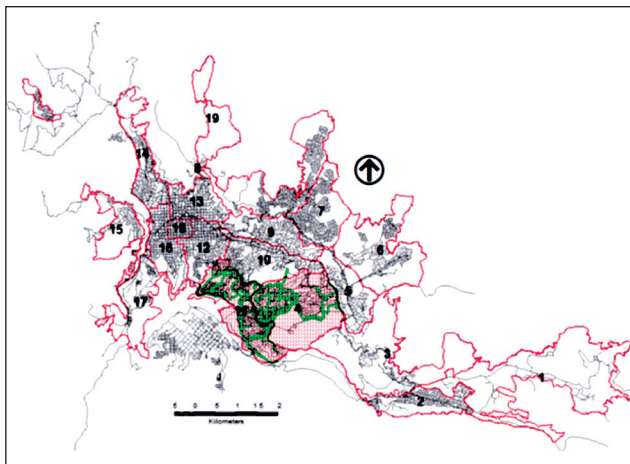


Figura 1. Piezas Intermedias de Planificación en la ciudad de Manizales. Obras propuestas para las PIP 4 y 11 (Líneas verdes).

Con el grafo de la red vial, cargado con los valores de velocidad media de operación, es posible realizar el análisis de accesibilidad media global, a partir del vector de tiempo medio de viaje (T_{vi}), que representa el tiempo promedio de viaje desde el nodo i hasta los demás nodos de la red. Para la obtención de este vector, se debe correr un algoritmo del SIG que calcula la menor distancia entre un nodo específico y los demás nodos de la red, generándose así una matriz unimodal de distancias. Posteriormente, conociendo la velocidad de operación promedio de cada arco, se elabora la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, en la cual se minimiza el tiempo medio de viaje entre todos los nodos que conforman el grafo. El vector de tiempo medio de viaje obtenido ($n \times 1$), se relaciona con las coordenadas geográficas (longitud y latitud) de cada uno de los nodos, con el fin de generar una matriz de orden

($n \times 3$), mediante la cual se generan las curvas isócronas de Accesibilidad Media Global.

4. Resultados obtenidos

A partir de la metodología descrita anteriormente, se obtuvieron las curvas isócronas de tiempo medio de viaje, las cuales fueron calculadas para el modo de transporte privado y el modo de Transporte Público Colectivo Urbano (TPCU). Para este análisis de accesibilidad, se estudian la situación actual de la red vial y la situación futura, teniendo en cuenta la nueva infraestructura y la comparación entre ambos escenarios.

4.1 Accesibilidades actual y futura de la PIP 4

4.1.1 Vehículo privado

En la Figura 2, se observa un zoom de las curvas isócronas, a partir del análisis de la situación actual para el modo de transporte privado en la PIP 4. Por su parte, en la Tabla 1, se presenta la accesibilidad actual, expresada como las áreas efectivas y relativas, en porcentaje del área total de la pieza, para cada rango de tiempo.

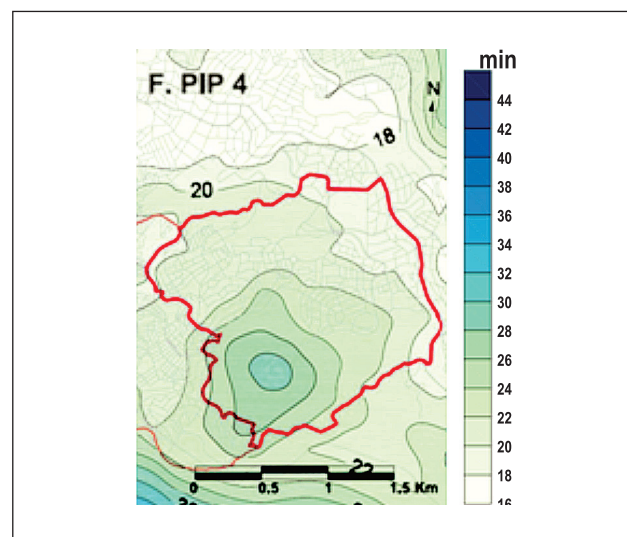


Figura 2. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 4 para vehículo privado en el escenario actual.

Se observa que el 100% del área de la pieza, se encuentra cubierta por la isócrona de 30 minutos; la cual, en contraste, tiene cobertura nula en el análisis de transporte público. Por otra parte, para el transporte en vehículo privado, se observa que no hay cobertura de isócrona inferior a 18 minutos y un porcentaje significativo de la pieza (37.1%) se encuentra en el rango entre 20 y 22 minutos. Considerando un rango de isócronas ampliado entre 18 y 24 minutos, se encuentra el 73.3% de la superficie de la pieza, lo cual indica una asimetría de los resultados hacia la marca de clase de la isócrona de 21 minutos.

En la Figura 3, se presentan los resultados de accesibilidad para el escenario futuro; se observa que el 100% del área de la pieza se encontraría cubierta por la isócrona de 26 minutos (4 minutos por debajo de la situación actual) y además, una pequeña proporción del territorio (2.6%), se encontraría cubierta por la isócrona inferior a 18 minutos, que en la situación actual, es el límite inferior absoluto de la accesibilidad (ver Tabla 2).

Tabla 1. Accesibilidad actual para vehículo privado en la PIP 4.

Curva isócrona (minutos)	Área (Km ²)	% Área total
< 18	0.00	0.0
18 – 20	0.49	17.5
20 – 22	1.04	37.1
22 – 24	0.52	18.7
24 – 26	0.39	14.1
26 – 28	0.28	10.1
28 – 30	0.07	2.5
Totales	2.80	100.0

Asimismo, el rango de isócronas de 18 a 20 minutos, representa una notable cobertura del 57.2% del territorio y la reducción del rango representativo de la situación actual en un ancho completo de clase (dos minutos).

4.1.2 Transporte público

En la Figura 4, se observa un zoom de las curvas isócronas a partir del análisis de la situación actual

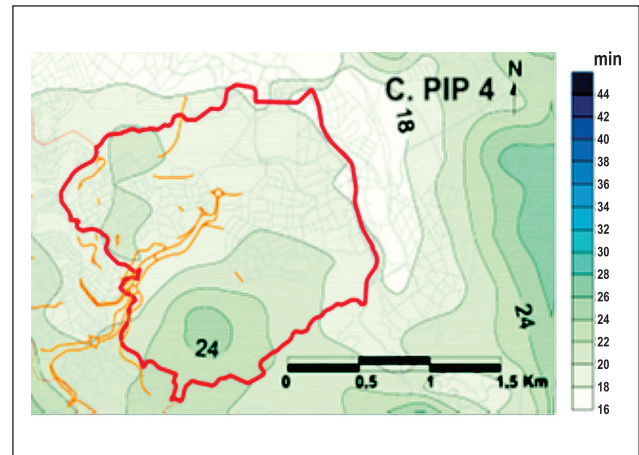


Figura 3. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 4, para vehículo privado en el escenario futuro.

de infraestructura, para el modo de transporte público. Por medio de la Tabla 3, se observan los datos de cobertura de la accesibilidad actual, expresada en los rangos de tiempo, definidos por las isócronas que cubren la PIP 4; el rango entre 35 y 40 minutos, tiene una representatividad importante, con el 35.1% del área total de la pieza. Para un rango ampliado, entre las isócronas de 30 y 45 minutos, se encuentra una cobertura del 67.3% de la pieza, de forma que la distribución presenta asimetría hacia la marca de clase de la isócrona de 37.5 minutos.

Tabla 2. Accesibilidad futura para vehículo privado en la PIP

Curva isócrona (minutos)	Área (Km ²)	% Área total
< 18	0.07	2.6
18 – 20	1.60	57.2
20 – 22	0.70	24.8
22 – 24	0.34	12.2
24 – 26	0.09	3.2
26 – 28	0.00	0.0
Totales	2.80	100.0

Para esta investigación no se tuvo un nivel de detalle suficiente como para asignar y reprogramar el servicio de TPCU, lo cual impidió el cálculo de su desempeño en el futuro; no obstante, si es posible establecerse que con las nuevas infraestructuras,

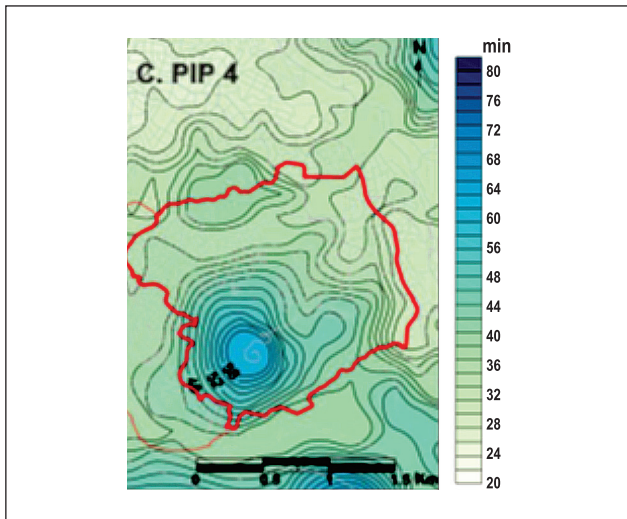


Figura 4. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 4 para vehículo público en el escenario actual.

existe un alto potencial de mejora en los tiempos medios de viaje para este modo de transporte.

Tabla 3. Accesibilidad actual para transporte público en la PIP 4.

Curva isócrona (minutos)	Área (Km ²)	% Área total
< 20	0.00	0.0
20 – 25	0.00	0.0
25 – 30	0.00	0.0
30 – 35	0.43	15.4
35 – 40	0.98	35.1
40 – 45	0.47	16.9
45 – 50	0.46	16.5
50 – 55	0.36	12.9
55 – 60	0.09	3.2
Totales	2.80	100.0

4.2 Accesibilidades actual y futura de la PIP 11

4.2.1 Vehículo privado

En la Figura 5, se observa un zoom de las curvas isocronas a partir del análisis de la situación actual para el modo de transporte privado en la PIP 11, las cuales fueron obtenidas mediante el análisis de toda la red vial de la ciudad de Manizales.

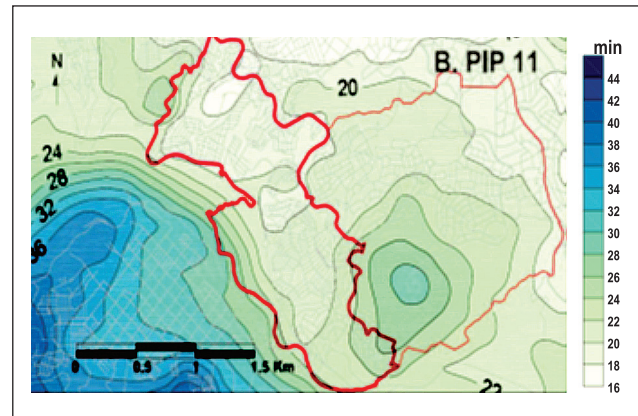


Figura 5. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 11 para vehículo privado en el escenario actual.

En la Tabla 4, se observa que el 100% del área de la PIP se encuentra cubierta por la isócrona de 30 min., la cual, en contraste, tiene cobertura de 8.7% en el análisis de TPCU. Este resultado se deriva de las marcadas diferencias en la velocidad de operación de ambos modos y en la rigidez espacial de la operación del transporte público.

Tabla 4. Accesibilidad actual para vehículo privado en la PIP 11.

Curva isócrona (minutos)	Área (Km ²)	% del Área total
< 18	0.08	3.7
18 - 20	0.72	35.8
20 - 22	0.59	29.4
22 - 24	0.42	20.6
24 - 26	0.16	8.0
26 - 28	0.05	2.3
28 - 30	0.004	0.2
Totales	2.02	100.0

En la Figura 6, se observa un zoom de las curvas isocronas a partir del análisis de la situación futura de infraestructura, para el modo de transporte privado para la PIP 11.

En la Tabla 5, se observan los resultados para el escenario futuro; se obtuvo que el 100% del área de la PIP, se encontraría cubierta por la isócrona de 28 min. (2 minutos por debajo de la situación actual) y, además, una mayor proporción del territorio (8.3%)

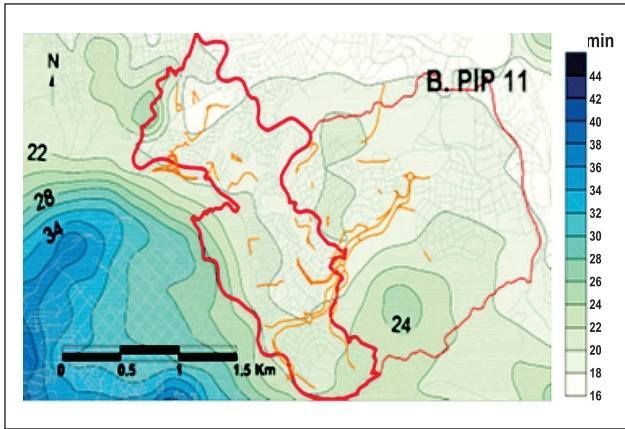


Figura 6. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 11 para vehículo privado en el escenario futuro.

se encontraría cubierta por la isócrona inferior a 18 minutos, que en la situación actual, corresponde a una cobertura de 3.7%.

Tabla 5. Accesibilidad futura para vehículo privado en la PIP 11.

Curva isócrona (minutos)	Área (Km ²)	% del Área total
< 18	0.17	8.3
18 - 20	0.98	48.6
20 - 22	0.60	29.8
22 - 24	0.21	10.4
24 - 26	0.06	2.8
26 - 28	0.003	0.2
Totales	2.02	100.0

4.2.2 Transporte público

En la Figura 7, se observa un zoom de las curvas isócronas a partir del análisis de la situación actual de infraestructura, para el modo de transporte público para la PIP 11, las cuales fueron obtenidas mediante el análisis de toda la red vial de la ciudad de Manizales.

Con dicha información se obtuvo la Tabla 6. Se observa que el rango entre 35 y 40 minutos, tiene una representatividad importante, con el 41.7% del área total de la pieza. Para un rango ampliado entre las isócronas de 25 y 45 minutos, se encuentra una

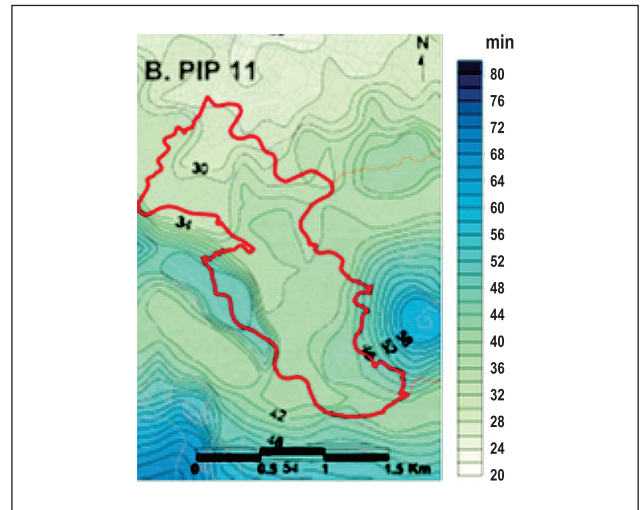


Figura 7. Accesibilidad media global ofrecida por la red vial de Manizales en la PIP 11 para transporte público en el escenario actual.

cobertura del 72.7% de la pieza, de forma que la distribución presenta asimetría hacia la marca de clase de la isócrona de 37.5 minutos.

Tabla 6. Accesibilidad actual para transporte público en la PIP 11.

Curva isócrona (minutos)	Área (Km ²)	% del Área total
< 20	0.00	0.0
20 - 25	0.00	0.0
25 - 30	0.18	8.7
30 - 35	0.45	22.3
35 - 40	0.84	41.7
40 - 45	0.39	19.4
45 - 50	0.10	5.2
50 - 55	0.05	2.7
55 - 60	0.00	0.0
Totales	2.02	100.0

4.3 Análisis comparativo de la accesibilidad actual en modo TPCU y privado entre ambas PIP

En la Figura 8, se presenta la comparación de cobertura en modo de TPCU para las PIP estudiadas; se observa que ambas PIP poseen un valor esperado de accesibilidad media entre 35 a 40 minutos, aunque es notoria la tendencia hacia valores superiores en la PIP 4. Asimismo, la PIP

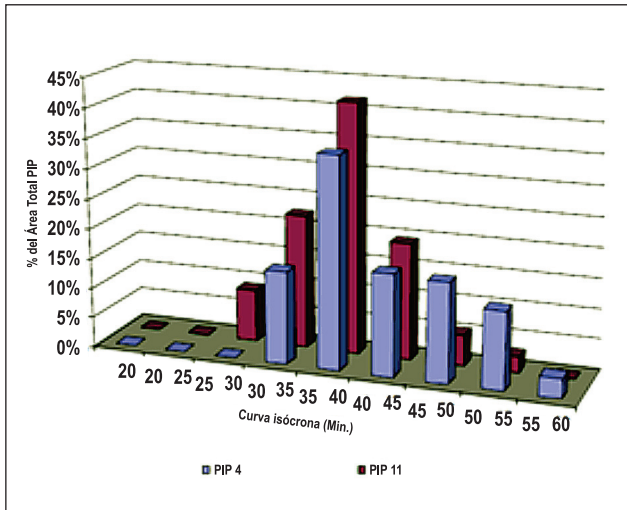


Figura 8. Área relativa y curvas isócronas de accesibilidad actual de TPCU.

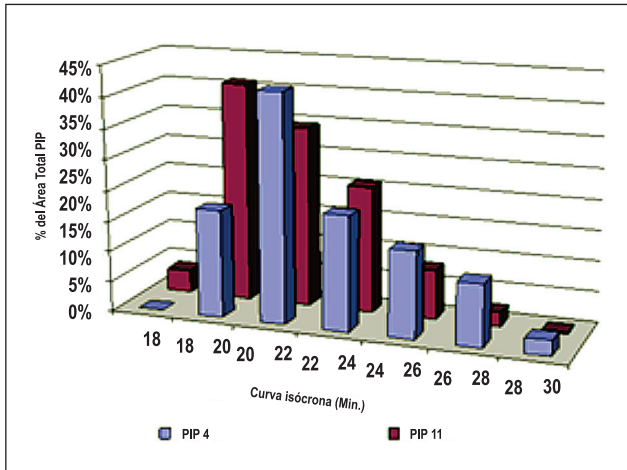


Figura 9. Área relativa y curvas isócronas de accesibilidad actual de vehículo privado.

4 no tiene áreas cubiertas por la isócrona de 30 minutos o inferior, mientras que la PIP 11 tiene un 8.7% de su área por debajo de dicho valor. De igual forma, si se toma la isócrona de 45 minutos como límite superior para comparar las dos PIP, se observa que ésta cubre un 67% del área de la PIP 4 y un 92% del área de la PIP 11. Lo anterior quiere decir, que el 33% del área de la PIP 4, presenta tiempos medios de viaje superiores a 45 minutos, mientras que en la PIP 11, esta situación sólo afecta el 8% del área. Lo anterior permite concluir, de forma general, que la PIP 11 ofrece mejores

condiciones de Accesibilidad Media Global que la PIP 4 para el modo TPCU en la actualidad.

En la Figura 9, se presenta la comparación de cobertura en modo privado para las PIP estudiadas. Considerando la isócrona de 18 minutos, se observa que la PIP 11 tiene una cobertura de 3.7% del área total de la pieza, mientras que la PIP 4 no presenta ninguna cobertura para ese nivel de accesibilidad. Por otra parte, la PIP 4 tiene su valor esperado de accesibilidad en el rango de isócronas entre 20 y 22 minutos., con un porcentaje de 37.1% del área de la pieza, mientras que la PIP 11 tiene su valor esperado en el rango inmediatamente inferior de 18 a 20 minutos, con un porcentaje de 57.1% del área de la pieza. Tomando como referencia superior la isócrona de 26 minutos, se observa que un 87.4% de la PIP 4 se encuentra cubierta por esta condición, mientras que la cobertura en la PIP 11, corresponde al 97.5%. Lo anterior permite establecer, de forma general, que la PIP 11 ofrece mejores condiciones de Accesibilidad Media Global que la PIP 4 para el vehículo privado, en la actualidad.

Conclusiones

La aplicación de la presente metodología, permite la elaboración de un panorama general de cómo la intervención sobre la infraestructura vial, podría impactar las áreas urbanas cubiertas en determinadas zonas en específico, con el fin de evaluar en un futuro, si el valor de las inversiones se justifican dado el mejoramiento de las condiciones de accesibilidad. Se concluye que para ambos sectores estudiados, el modo privado se ve más beneficiado que el modo TPCU, haciendo énfasis en la necesidad de modificar la operación del sistema público para obtener mejoras sustanciales en sus condiciones de accesibilidad. Se obtuvo que es la PIP 11, la más beneficiada en términos de cobertura de área urbana por las curvas isócronas.

Es de vital importancia mejorar las condiciones de operación del TPCU y comenzar políticas viales que desincentiven el uso de vehículo particular, lo cual redundará en condiciones de vida más humanas y en un derecho a la movilidad más equitativa. Se

concluye que este tipo de análisis, en cualquier momento, puede soportar de forma técnica la toma de decisiones respecto a modificaciones que se deseen realizar a la red vial.

Referencias

1. Izquierdo, R., et al. (1994). *Transportes un Enfoque Integral*. España: CICCIP.
2. Morris, J. M., Dumble, P. L., Wigan, M. R., (1979): *Accessibility indicators in transport planning*. Transportation Research A 13, 91–109.
3. Zhu, X. & Liu, S. (2004): *Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool*; Journal of Transport Geography Vol. 4. No. 12. pp. 89-101.
4. Geurs, K. and Ritsema van Eck, J. (2001). *Accessibility Measures: Review and Applications. Evaluation of Accessibility Impacts of Land-use Transport Scenarios, and Related Social and Economic Impacts*. National Institute of Public Health and the Environment.: Available in: <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.pdf>.
5. Biehl, D. (1991). *The role of infrastructure in regional development*. (Pion, Ed.) Infrastructure and Regional Development , 9-35.
6. Loyola et al. (2009). *Flujo, Movilidad y Niveles de Accesibilidad en el centro de Chillan año 2007. Propuesta de mejoramiento mediante SIG*. Revista Urbano, Vol. 12, No. 19, mayo, 2009, pp. 17-27. Universidad del Bío Bío. Chile.
7. Gutiérrez, J. (1998). *Redes, espacio y tiempo*. Anales de geografía de la Universidad Complutense , 18, 65-86.
8. Gutiérrez, J., Condeco-Melhorado, A., & Martín, J. (2010). *Using Accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment*. Journal of Transport Geography , 18, 141-152.
9. Kotavaara, O., Antikainen, H., and Rusanen, J. (2011). *Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland 1970–2007*. Journal of Transport Geography , 19 (4), 926-935.
10. Schürman, C., Spiekermann, K., Wegener, M., 1997. *Accessibility indicators*. Berichte aus dem Institut für Raumplanung, 39, IRPUD, Dortmund.
11. López, E., Gutiérrez, J. and Gómez, G., (2008). *Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investment: an accessibility approach*. European Planning Studies 16 (2), pp. 277-301.
12. Rietveld P. and Nijkamp P. (1993), *Transport and regional development*. In: J. Polak and A. Heertje, Editors, European Transport Economics, European Conference of Ministers of Transport (ECMT), Blackwell Publishers, Oxford.
13. Universidad Nacional de Colombia (2005). *Plan de Movilidad para el Municipio de Manizales. Fases 0 y 1*. Manizales, 2005.