

# Impacto regional: caso de aplicación de análisis de accesibilidad territorial

## *Regional Impact: Case of Application of Territorial Accessibility Analysis*

DIEGO ALEXANDER ESCOBAR GARCÍA\*

FRANCISCO JAVIER GARCÍA OROZCO\*\*

### RESUMEN

En el proyecto *Estudios para el desarrollo del ordenamiento territorial y estudios técnicos para el sistema vial de la región Centro-Sur del Departamento de Caldas*, realizado por la Universidad Nacional de Colombia (sede Manizales), se planteó el diseño integral de las intervenciones viales establecidas por la Administración Departamental. La caracterización del tránsito y de la accesibilidad, ofrecida por las actuales y futuras infraestructuras, se convirtieron en unos de los principales insumos para la planificación. En dichos estudios es necesario evaluar las características físicas y operativas de las infraestructuras, con el propósito de realizar, mediante una comparación en paralelo de escenarios, las modificaciones y ampliaciones que el sistema de transporte en realidad necesita; para esto se buscó potenciar zonas olvidadas e incommunicadas. Se realizó un análisis de accesibilidad media global, ofrecida por la red viaria; esta se calculó en un área de estudio de 35 km de radio a partir del casco urbano del municipio de Palestina, con el propósito de definir un área compacta de influencia directa sobre la región Centro-Sur, teniendo que en dicho municipio estará ubicado el Aeropuerto del Café.

**Palabras clave:** accesibilidad, SIG, costos, impacto regional, infraestructura, transporte.

### ABSTRACT

In the project *Studies for the development of land use planning and technical studies for the road system in the South Central region of the Caldas Department*, conducted by Universidad Nacional de Colombia (Manizales Campus), the integral design of road interventions established by the Departmental Administration was proposed. The characterization of traffic and accessibility, offered by current and future infrastructure, became one of the main resources for planning. In these studies, it is necessary to evaluate the physical and operational characteristics of the infrastructures, with the purpose of performing, through comparison of parallel scenarios, the modifications and extensions that the transportation system actually requires; in order to do so, the goal was to promote neglected and isolated areas. An analysis of the average global accessibility offered by the road network was conducted; this was calculated in a study area of 35 km radius from the urban area of the town of Palestina, in order to

FECHA DE ENVÍO: 8 DE AGOSTO DEL 2011 • FECHA DE ACEPTACIÓN: 12 DE ABRIL DEL 2012

\* Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia (1999), magíster en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes (2001) y doctor en Gestión del Territorio e Infraestructuras del Transporte, Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España, 2008). Profesor asociado e investigador de la Universidad Nacional de Colombia (sede Manizales, adscrito al Departamento de Ingeniería Civil). Correo electrónico: daescobar@unal.edu.co.

\*\* Ingeniero Civil (1988), especialista en Geotecnia (1998), especialista en Vías y Transportes (2001) y doctor en Ingeniería (2011), Universidad Nacional de Colombia. Profesor asociado e investigador de la Universidad Nacional de Colombia (sede Manizales, adscrito al Departamento de Ingeniería Civil). Correo electrónico: ffgarciaor@unal.edu.co.

establish a compact area of direct influence over the South Central region, taking into account that the Aeropuerto del Café (Coffee Airport) will be located in that municipality.

**Keywords:** Accessibility, SIG, costs, regional impact, infrastructure, transportation.

## Introducción

Un análisis de accesibilidad evalúa de manera técnica las diferentes posibilidades de interacción entre determinados puntos geográficos de un territorio (Izquierdo, 1994). Esta se define como una medida de la facilidad de comunicación entre actividades o asentamientos humanos, utilizando un determinado modo de transporte (Morris et ál., 1978; Zhu y Liu, 2004). Asimismo, permite medir la facilidad o dificultad aportada por las infraestructuras y medios de transporte para llegar a cierto lugar (Geurs y Ritsema van Eck, 2001) y para la realización de un viaje.

Es posible establecer que la accesibilidad se encuentra estrechamente relacionada con la variable “distancia”, convirtiéndose en una función que depende de la cercanía existente entre puntos geográficos de un área o región. No obstante, dados 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 (Gutiérrez, 1998) y de cómo dichas infraestructuras acortan los tiempos de conexión.

Este tipo de análisis se convierte en un elemento básico de la planificación territorial, la cual depende no solo de las características topológicas de la red, sino también de sus características operativas, en donde la velocidad media de operación del flujo que les use, es una variable fundamental para el análisis (Herce y Magrinya, 2002), y de su consecución depende en gran parte la precisión y veracidad de los resultados que se obtengan. Las velocidades de operación fueron calculadas mediante trabajo de campo (método del vehículo flotante), lo cual se destaca, dado que por lo general, en los análisis de accesibilidad, en los que se asumen las velocidades de operación dependiendo de la categoría de la vía (Burns, 2007). No obstante, existen recientes investigaciones de accesibilidad urbana que toman velocidades reales de los vehículos (Li et ál., 2011).

Para la realización de los cálculos, se hace uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG); estos sistemas tienen la capacidad de almacenar gran cantidad de

información respecto a características físicas y operativas de las infraestructuras y características socioeconómicas y demográficas de la población. Lo anterior permite relacionar diferentes capas de información que llevarían a un conocimiento más detallado de las características de accesibilidad ofrecida por las infraestructuras evaluadas. Una ventaja importante en el uso de los GIS es que permiten comprender el comportamiento de las redes (Gutiérrez et ál., 2010), el cual es analizado mediante el uso de algoritmos (p. ej. caminos mínimos) que proporcionan a los investigadores herramientas que simulan dicho comportamiento.

Los análisis de accesibilidad toman cada vez más fuerza en la evaluación de planes y proyectos de infraestructura, encontrando que la mejora de accesibilidad es en muchos casos uno de los criterios tenidos en cuenta (Gutiérrez et ál., 2010). Existen diferentes tipos de análisis de accesibilidad, en los cuales se abordan criterios relacionados con el desarrollo económico (Rietveld y Nijkamp, 1993; Vickerman et ál., 1999; MacKinnon et ál., 2008), sociodemografía (Kotavaara et ál., 2011) y cohesión social, por ejemplo (Schürman et ál., 1997; López et ál., 2008). De modo general, la accesibilidad es considerada como un importante factor de competitividad (Biehl, 1991), teniendo que las comunidades más accesibles son las que han referido a través del tiempo un mayor éxito económico.

Es la primera vez que se realizan este tipo de estudios en el departamento de Caldas, los cuales hacen parte fundamental de la evaluación posterior de las intervenciones infraestructurales que se pretenden realizar, encontrando el impacto que sobre los tiempos de viaje y los costos de operación imprimen dichas intervenciones en el territorio. La región Centro-Sur del departamento, tiene una superficie aproximada de 1583 km<sup>2</sup> (20,2 % del territorio departamental), alberga un 54,8 % del total de población y posee una densidad poblacional de 338 hab./km<sup>2</sup>, comprende los municipios de Manizales, Chinchiná, Villamaría, Neira y Palestina, siendo considerada la más dinámica del departamento (Gobernación de Caldas, 2009).

## Metodología

La investigación fue desarrollada durante el 2010, y para su desarrollo se tomó información en campo e información secundaria a partir de fuentes oficiales. La primera etapa consistió en la obtención de los archivos magnéticos de la red vial del Departamento de Caldas (Gobernación de Caldas, 2009) (figura 1), los cuales

fueron complementados mediante la georeferenciación directa de la zona usando equipos GPS, posteriormente se georeferenciaron las futuras intervenciones viales, a lo largo de cada uno de los tramos. La digitalización de la red vial permitió la modelación de los datos ingresados; ésta se encuentra compuesta por 575 arcos y 446 nodos, para cada uno de los cuales se relacionan una serie de atributos, entre los cuales se encuentra la velocidad media de operación en los arcos y el tiempo de recorrido por el camino mínimo entre cada par de nodos.



Figura 1. Red vial analizada. Radio de cobertura 35 km desde Palestina

Fuente: elaboración propia.

El valor de la velocidad media de operación en cada arco fue obtenido mediante pruebas de vehículo flotante, que permitieron establecer las velocidades de operación de cada uno de los arcos analizados. Debido a la imposibilidad de realizar la prueba de vehículo flotante en la totalidad de arcos incluidos en el área de estudio, para los arcos que no fueron evaluados mediante medidas de campo, se realizó un análisis estadístico de los valores de velocidad de operación obtenidos con anterioridad, en donde se determinaron las características de velocidad de operación según el tipo de vía (primaria, secundaria o terciaria, nacional o departamental), el

tipo se superficie de rodadura (pavimento o afirmado) y su estado (bueno regular o malo). El análisis estadístico de las velocidades de operación arrojó la diferencia porcentual para los diferentes tipos de vías respecto a su estado para cada categoría, encontrándose una variación promedio del 16,5 % de disminución de la velocidad al pasar de un estado de pavimento bueno a regular o de regular a malo.

Con la base de datos así obtenida se pasa a la segunda etapa, en la cual se hicieron múltiples análisis dado que se contaba simultáneamente con los datos de la red vial e información de velocidad de operación y tiempo de recorrido en cada arco. Se calculó la matriz de tiempos medios de viaje entre todos los nodos de la red, permitiendo obtener el vector de tiempos medios de recorrido por el camino mínimo desde cada nodo de la red hacia los otros. Por medio del *software* geostatístico (Surfer, 2009) fue posible aplicar modelos de interpolación para la variable tiempo medio de viaje de cada nodo, lo anterior con el propósito de obtener las curvas de accesibilidad media global (isócronas) ofrecida por la red de infraestructuras, tanto para el escenario actual como para el futuro.

Las curvas isócronas son resultados gráficos que permiten identificar en cuales zonas de la región se tendrían impactos significativos respecto al tiempo de viaje necesario para alcanzarlas, resultado que se obtiene de comparar los vectores de tiempo medio de viaje para cada escenario. A los valores de tiempo medio de viaje obtenidos en el vector se les realiza un adecuado tratamiento estadístico, lo cual permite obtener pronósticos de la variable tiempo medio de viaje en diferentes puntos del territorio de una manera más confiable.

## Principales resultados

### *La red vial*

La red vial de la región Centro-Sur del departamento de Caldas posee una longitud total de 1250 km aproximadamente, de los cuales, más del 56 % pertenecen a tipos de vía primaria y secundaria, de modo semejante, más del 57 % de la longitud refiere velocidades de operación menores a 30 km/h. No obstante, la totalidad de la red primaria reporta velocidades de operación mayores a 30 km/h. Los análisis de velocidad de operación realizados permitieron obtener un mapa general de la

situación (figura 2). Se obtuvo que la velocidad promedio de la red analizada es de aproximadamente 26 km/h.

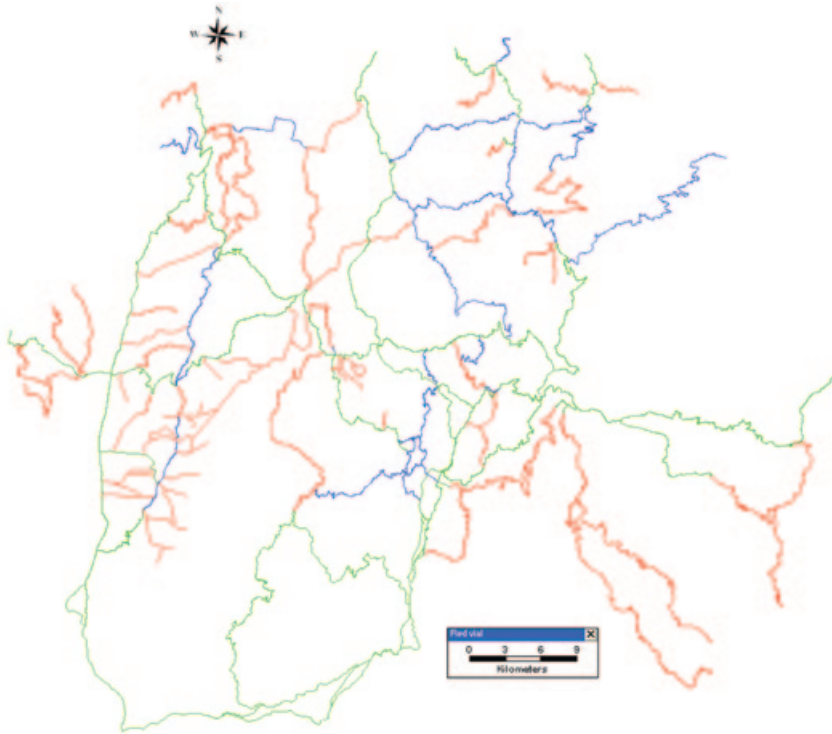


Figura 2. Red vial analizada

Fuente: elaboración propia.

Respecto a la categoría de la vía, las principales refieren una velocidad promedio de 43 km/h, mientras que la categoría secundaria y terciaria refieren velocidades de operación sustancialmente menores, 27,25 y 9,0 km/h, respectivamente. Por otra parte, se obtuvo que aproximadamente el 57 % de la longitud total de la red vial analizada se desarrolla en terreno montañoso y ondulado, lo cual impacta de manera directa las velocidades de operación obtenidas mediante el estudio de vehículo flotante.

### ***Análisis de accesibilidad media global actual y futura***

Las isócronas son aquellos espacios virtuales conformados por las posiciones alcanzadas por un objeto en un tiempo  $T_i$  partiendo desde un punto  $i$  en un arreglo radial,

es decir, la red vial de la zona analizada. En el caso del análisis de la accesibilidad media global ofrecida por la red viaria actual de la región Centro-Sur del departamento de Caldas, las isócronas representan las zonas que podrían ser alcanzadas en un tiempo promedio de viaje determinado, desde cualquier nodo de la red. Este tiempo de desplazamiento depende de las características físicas y operativas de la vía (topografía, estado de la superficie de rodadura, categoría, velocidad de operación promedio, sitios geotécnicos problemáticos, etc.).

Para el análisis de accesibilidad ofrecida por la red viaria futura, es necesario realizar los cambios correspondientes en el grafo de análisis, como lo son el trazado y nuevas velocidades de operación de los tramos que serán intervenidos. En la figura 3 se observan los tramos A (doble calzada), B (troncal), C (troncal), D (doble calzada) y E (troncal) que serán intervenidos. A los tramos a intervenir, se les asignó una velocidad de operación de 34 km/h (85 % de la velocidad de diseño, 40 km/h) para la realización de los cálculos y análisis de los tiempos medios de viaje, en su componente de accesibilidad media global.

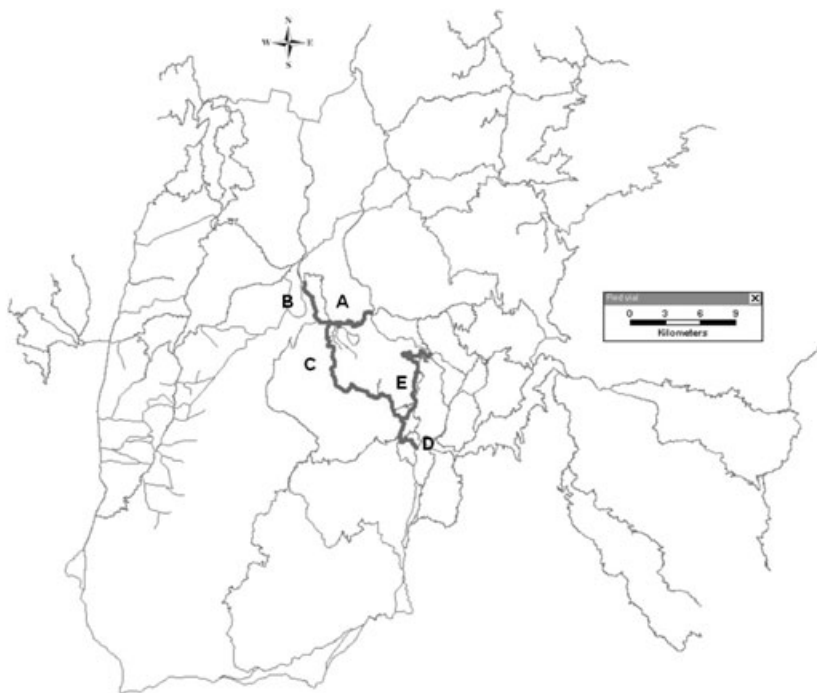


Figura 3. Vías que serán intervenidas

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se observan los resultados de accesibilidad media global actual y futuro de la red analizada; la curva isócrona de menor tiempo es la de 80 min, la cual cubre el corredor vial entre poblaciones conectadas en dirección Sur-Norte (Autopista del Café) y un corto tramo del sector de Santágueda (punto A, figura 4); es posible establecer que dada la posición geográfica de las zonas urbanas y dadas las características físicas y operativas de la red vial actual, en su conjunto, les conviene en las áreas de mayor potencial de desarrollo, dado que son las zonas que en tiempo promedio de viaje, es más fácil acceder desde cualquier otro nodo de la red analizada.

Con respecto al escenario futuro se observa cómo la curva isócrona de 80 min amplió ostensiblemente su cobertura respecto al escenario actual, cubriendo el corredor vial principal que conecta el Oriente con el Occidente, y el corredor vial que va hacia la población de Chinchiná (punto D, figura 4), con este resultado, se observa el impacto en tiempos medios de viaje que produciría la intervención A (doble calzada, figura 3), convirtiendo dicho sector en el de mayor accesibilidad y por tanto en las que se referirá un mayor potencial de desarrollo desde el punto de vista de conexión entre zonas de la región Centro-Sur del departamento de Caldas.

Las poblaciones de Dosquebradas y Pereira (hacia el Sur) se encuentran cubiertas por la isócrona de 100 min y 105 min, respectivamente, lo cual se debe a las características de la red viaria que les conecta con la región Centro-Sur del departamento de Caldas, dicha configuración espacial es debido a que la zona mencionada, actualmente está conectada por un corredor viario de categoría primaria (Autopista del Café), poniendo de manifiesto que seguramente la accesibilidad por el corredor vial hacia el Occidente tendrá cambios significativos cuando en un futuro se conecte con la Autopista de la Montaña.

Haciendo un análisis de la población de los municipios que se encuentran dentro del área de influencia del estudio, se tiene que un 82,7 % de la población se encuentra ubicada en zona urbana de los municipios y el 17,3 % está ubicada en zona rural; el 55,1 % de la población del área de influencia está ubicada en los municipios del Sur del área en estudio.

En la tabla 1 se observa el porcentaje de población cubierta por las curvas isócronas de tiempo en el escenario futuro; los porcentajes de población cubierta del área de



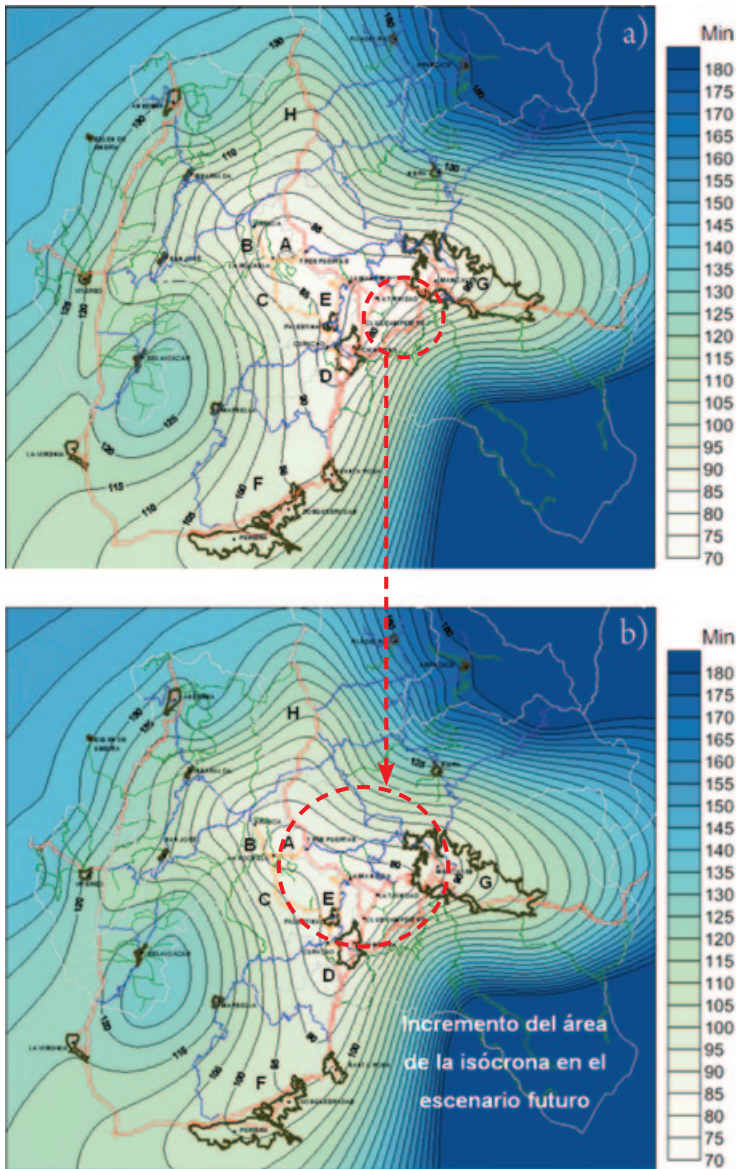


Figura 4. Curvas isócronas de accesibilidad media global en la hora pico ofrecidas por a) la red viaria actual y b) la red viaria futura

Fuente: elaboración propia.

influencia, sufren una mínima modificación, teniendo que para el rango de curvas isócronas de tiempo menores o iguales a 95 min, el porcentaje de población cubierta es el mismo; para el rango de curvas isócronas de tiempo de entre 100 y 120 min,

aumenta el porcentaje de cobertura de población al 1 % aproximadamente y para el rango de curvas isócronas superiores a 120 min, el porcentaje disminuye en 1 %.

Tabla 1. Población en los municipios del área de influencia según la curva isócrona que les cubre en la red viaria futura

MUNICIPIO	POBLACIÓN TOTAL POR MUNICIPIO	CURVA ISÓCRONA QUE LE CUBRE (MIN)	% POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	% POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA (ACUMULADA)	
Chinchiná	53.496	80	3,82	3,8	35,5 %
Palestina	18.037	85	1,29	5,1	
Manizales	379.972	95	27,10	32,2	
Villamaría	46.960	95	3,30	35,5	
Dosquebradas	179.301	100	12,79	48,3	55,3 %
Santa Rosa	69.960	100	4,99	53,3	
Pereira	443.554	105	31,64	84,9	
San José	7572	110	0,54	85,5	
Risaralda	10.679	110	0,76	86,2	
Marsella	21.457	115	1,53	87,8	55,3 %
La Virginia	31.261	120	2,23	90,0	
Belalcazar	11.872	120	0,85	90,8	
Viterbo	13.159	125	0,94	91,8	9,2 %
Belén de Umbría	26.603	130	1,90	93,7	
Anserma	35.097	130	2,50	96,2	
Neira	28.140	130	2,01	98,02	
Filadelfia	12.737	160	0,91	99,1	
Aranzazu	12.815	180	0,91	100	
Población área de influencia	1.402.034		100 %		100 %

Fuente: elaboración propia.

La anterior situación lleva a concluir que las futuras intervenciones, desde el punto de vista de población de área cubierta en determinados tiempos de viaje, no impactarán significativamente el territorio.

En el caso del análisis de las curvas gradientes de accesibilidad media global entre la red viaria actual y futura de la región Centro-Sur del departamento de Caldas, las isócronas representan las zonas que ganan un tiempo relativo de viaje. En la figura 5, se aprecian las curvas gradientes de accesibilidad media global, donde se encuentran ubicadas las vías objeto de intervención, mostrando que estas causarán un impacto de entre 2,5 y 5 min en ganancia relativa de tiempo de medio de viaje.

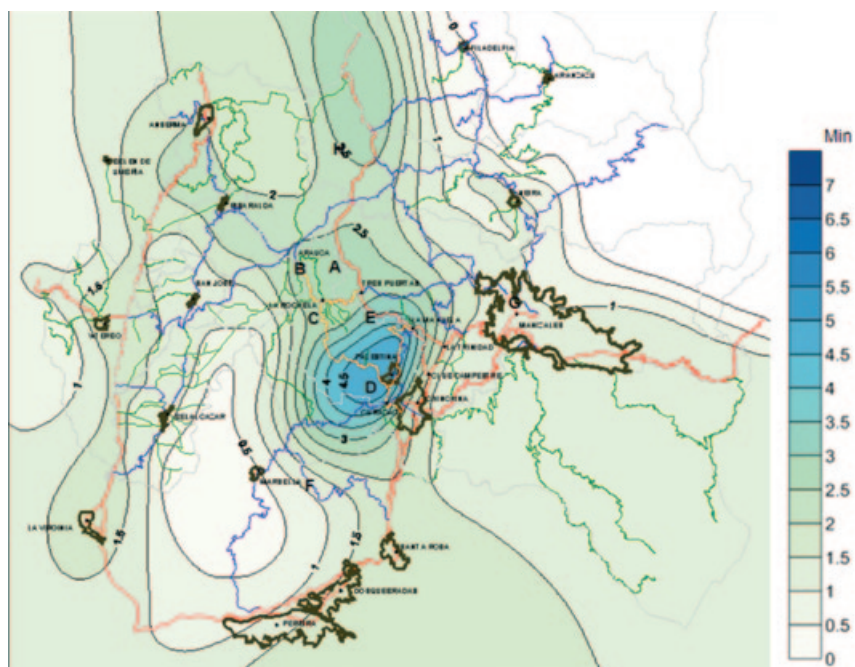


Figura 5. Curvas isócronas de accesibilidad media global para el gradiente de tiempo medio de viaje entre el escenario actual y futuro

Fuente: elaboración propia.

De esta manera, se tiene que si el principal objetivo de las intervenciones viales que se realizarán es el de proveer mejoras relativas en los tiempos de desplazamiento en la región Centro-Sur del departamento de Caldas, es posible concluir que dicho objetivo se cumple, no obstante, la magnitud de dichas mejoras de tiempo no se consideran sustanciales; asimismo es posible observar la necesidad latente de construir o mejorar la conexión entre la región Centro-Sur y las poblaciones ubicadas hacia el Norte del departamento de Caldas, para garantizar una adecuada conexión de dichas áreas con el futuro Aeropuerto del Café.

## *Análisis respecto a costos entre diferentes tipos de vehículos*

Para realizar el análisis de costos de transporte, se tomaron como base de cálculo los costos de operación vehicular publicados de manera oficial por el Invías (2007); para ello se obtuvieron las curvas gradiente de isocosto para cada tipo de vehículo (automóvil, bus y camión), tanto para el escenario actual como para el futuro, lo cual permitió realizar una comparación entre matrices de costo y obtener las curvas gradiente en \$/Pas para automóviles y buses, \$/t para camiones. Este costo de desplazamiento depende de las características físicas y operativas de la vía (topografía, superficie de rodadura, etc.).

Los costos de operación en vehículo privado (US\$1 = 2000 pesos colombianos) varían entre US\$16 y US\$31 en toda la región de análisis, encontrándose que los ahorros en costos de operación cuando se hayan realizado las intervenciones, varían entre US\$0,13 y US\$0,75 por vehículo con capacidad de cinco pasajeros. Lo anterior indica que existiría un ahorro de entre 0,4 % y 4,6 % en los viajes de vehículos privados al comparar los resultados obtenidos para ambos escenarios. Los costos de operación en bus (US\$1 = 2000 pesos colombianos) varían entre US\$54 y US\$96 en toda la región de análisis, encontrándose que un bus viajando con la capacidad completa (veinticuatro pasajeros) puede ahorrarse entre US\$0,3 y US\$2,4. Lo anterior indica que para este tipo de vehículo, viajando con su capacidad, existiría un ahorro en costos de operación de entre 0,31 % y 4,44 %, entre ambos escenarios.

Los costos de operación en camión (US\$1 = 2000 pesos colombianos) varían entre US\$83 y US\$154 en toda la región de análisis, encontrándose que un camión con una capacidad promedio de 23,7 t puede ahorrarse entre US\$0,6 y US\$4,1 al desplazarse por la región. Lo anterior indica que para este tipo de vehículo, calculando con la capacidad promedio, existiría un ahorro en costos de operación de entre 0,38 % y 5,0 %, entre ambos escenarios.

Según los anteriores resultados, se tiene que el vehículo que refiere mayores beneficios respecto al ahorro en costos de operación es el camión, lo cual beneficiaría directamente al futuro Aeropuerto del Café. Vale la pena resaltar que aunque los porcentajes de variación en los costos de operación son considerados bajos, es necesario tener en cuenta el tráfico total que se desplaza dentro de la zona de estudio con el propósito de hacer las proyecciones de ahorro real que se tendrían años después de realizadas las inversiones (figura 6).

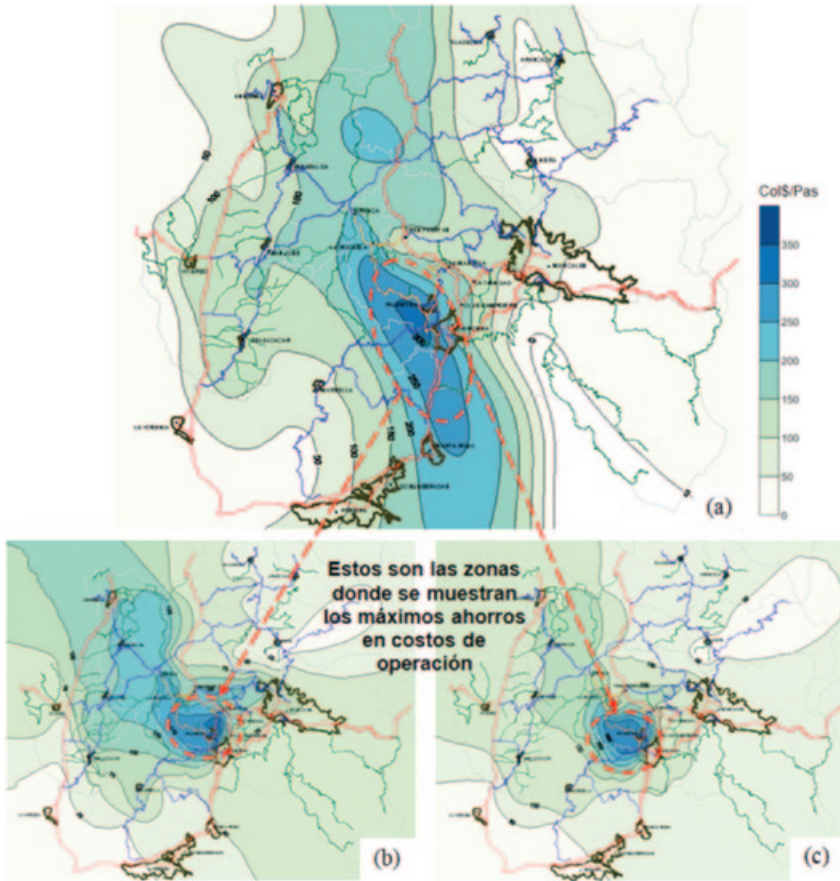


Figura 6. Gradiente de curvas Isocosto (\$/Pas) de accesibilidad media global para a) automóvil, b) bus y c) camión

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

De manera general, se tiene que toda el área de análisis se cubre con tiempos medios de viaje de entre 80 y 180 min, resultado del análisis de accesibilidad media global, asimismo, se observa que actualmente existe una accesibilidad más limitada hacia el Norte de la zona en estudio. No obstante, los resultados mostrados por las curvas gradientes de tiempos medios entre los escenarios actual y futuro, muestran que es precisamente esta zona la que se ve más beneficiada, al igual que el sector donde se realizarán directamente las intervenciones. Este resultado es en definitiva positivo dadas las proyecciones nacionales de obras viales de gran envergadura como



la Autopista de la Montaña, la cual conectará la región Centro-Sur con la región Norte del país a lo largo del costado occidental.

Se concluye que existe la necesidad de establecer mejor conectividad entre las poblaciones que se encuentran ubicadas a lo largo del corredor vial hacia el norte del departamento de Caldas con la región Centro-Sur de este, con el objetivo de lograr una integración que refuerce los posibles servicios de carga especializada desde el futuro Aeropuerto del Café. Asimismo, desde la futura infraestructura aeroportuaria, las poblaciones a lo largo del corredor Oriente refieren una mayor ganancia relativa de tiempo medio de viaje (7 min), mientras que el mismo corredor vial no refiere variación en tiempos medios de viaje desde las poblaciones de Manizales y Pereira. El corredor vial Occidente, refiere un menor impacto por las intervenciones futuras.

Se tiene entonces que si el principal objetivo de las intervenciones viales que se realizarán es el de proveer mejoras relativas en los tiempos de desplazamiento en la región Centro-Sur del departamento de Caldas, es posible concluir que dicho objetivo se cumple, no obstante, la magnitud de dichas mejoras de tiempo no se consideran sustanciales.

Por otra parte, se concluye que conjugando las variables analizadas en términos de tiempo de viaje y costo (\$/t) se observa que desde Palestina se presentarán los mayores beneficios, proporcionando a dicha población el impulso necesario para su desarrollo, teniendo que el vehículo que refiere mayores beneficios respecto al ahorro en costos de operación es el camión, lo cual beneficiaría directamente al futuro Aeropuerto del Café.

Vale la pena resaltar que aunque los porcentajes de variación en los costos de operación son considerados bajos, es necesario tener en cuenta el tráfico total que se desplaza dentro de la zona de estudio con el fin de hacer las proyecciones de ahorro real que posiblemente se tendrá años después de realizadas las inversiones.

Es la primera vez que se realizan este tipo de estudios en nuestra región, teniendo que las herramientas GIS proporcionan una interfaz gráfica que permite realizar análisis de accesibilidad, siendo esta una práctica que ha ganado popularidad últimamente (Liu y Zhu, 2004) y que puede ser usada también para conocer los

cambios de accesibilidad dado el desarrollo de las infraestructuras para el transporte (Hou, 2011).

Se concluye que este tipo de análisis es un apoyo técnico que muestra un panorama general de las condiciones de accesibilidad ofrecidas por infraestructuras del transporte a una región, que en cualquier momento puede apoyar la toma de decisiones respecto a modificaciones que se deseen realizar a la red vial o a los sistemas de transporte que le usan y sobre todo para establecer en qué áreas se deben aunar esfuerzos para ofrecer una mejor accesibilidad y aumentar la calidad de vida de los pobladores.

## Referencias

- Biehl, D. (1991). The role of infrastructure in regional development. En Pion (Ed.). *Infrastructure and Regional Development*.
- Burns, C. M. e Inglis, A. D. (2007). Measuring food access in Melbourne: Access to healthy and fast foods by car, bus and foot in an urban municipality in Melbourne. *Health & Place*, 13, 877-885.
- Geurs, K. y 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*. Recuperado de <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.pdf>
- Gobernación de Caldas (2009). *Plan Vial de Caldas 2008-2017*. Manizales.
- Gutiérrez, J. (1998). Redes, espacio y tiempo. *Anales de Aerografía de la Universidad Complutense*, 18, 65-86.
- Gutierrez, J.; Condeco-Melhorado, A. y Martín, J. (2010). Using Accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment. *Journal of Transport Geography*, 18, 141-152.
- Herce, M. y Magrinya, F. (2002). *La ingeniería en la evolución de la urbanística*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Hou, Q. y Li, S. (2011). Transport infrastructure development and changing spatial accessibility in the Greater Pearl River Delta, China, 1990-2020. *Journal of Transport Geography*, 19, 1350-11360.
- Instituto Nacional de Vías (Inviás), (2007). *Documentos técnicos*. Volúmenes de Tránsito, territorial Caldas.

- Izquierdo, R. (1994). *Transportes: un enfoque integral*. Madrid: Servicio de publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.
- Kotavaara, O.; Antikainen, H. y 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.
- Li, Q.; Zhang, T.; Wang, H. y Zeng, Z. (2011). Dynamic accessibility mapping using floating car data: A network-constrained density estimation approach. *Journal of Transport Geography* 19, 379-393.
- Liu, S. y Zhu, X. (2004). Accessibility analyst: An integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31, 105-124.
- López, E.; Gutierrez, J. y Gómez, G. (2008). Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investment: an accessibility approach. *European Planning Studies*, 16(2), 277-301.
- MacKinnon, D.; Pirie, G. y Gather, M. (2008). Transport and economic development. En R. Knowles, J. Shaw y I. Docherty (Eds.). *Transport Geographies: Mobilities, Flows and Spaces*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Morris, J.; Dumble, P. y Wigan, M. (1978). Accessibility indicators in transport planning. *Transportation Research*, A(13), 91-109.
- Rietveld P. y Nijkamp P. (1993). Transport and regional development. En J. Polak y A. Heertje (Eds.). *European Transport Economics, European Conference of Ministers of Transport (ECMT)*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Schürman, C.; Spiekermann, K. y Wegener, M. (1997). Accessibility indicators. *Berichte aus dem Institut für Raumplanung*, 39, IRPUD, Dortmund.
- Vickerman, R.; Spiekermann, K. y Wegener, M. (1999). Accessibility and economic development in Europe. *Regional Studies*, 33(1), 1-15.
- Zhu, X. y Liu, S. (2004). Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool. *Journal of Transport Geography*, 4(12), 89-101.