

# Accesibilidad como herramienta de planeación urbana. Caso de estudio: Redireccionamiento vial en Riosucio (Caldas - Colombia)

## Accessibility methodology as a tool for urban planning. Case study: Lane redirection in Riosucio (Caldas - Colombia)

Diego Alexander Escobar García<sup>1</sup>, Juan Pablo Duque Cañas<sup>2</sup>, Andrés Salas Montoya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *PbD, Universidad Nacional de Colombia –Sede Manizales, Departamento de Ingeniería Civil, daescobarga@unal.edu.co*

<sup>2</sup> *PbD, Universidad Nacional de Colombia –Sede Manizales, Departamento de Arquitectura y Urbanismo, jpduquec@unal.edu.co*

<sup>3</sup> *PbD, Universidad Nacional de Colombia –Sede Manizales, Departamento de Ingeniería Civil, asalasm@unal.edu.co*

*Fecha de recepción: 06/08/2014 Fecha de aceptación del artículo: 10/02/2015*

### Resumen

Esta investigación aborda la metodología de oferta de infraestructuras del transporte; mediante el uso de equipos GPS se determinan las características operativas de la red y las condiciones de accesibilidad urbana actual. Se busca definir el direccionamiento vial más óptimo para el Municipio de Riosucio (60.000 hab., Caldas, Colombia). La hipótesis es que con un adecuado direccionamiento vial, se mejorarán las características de movilidad y que dicha mejora se refleja en la calidad de vida de los habitantes. Con el fin de proponer modificaciones a la estructura de sentidos viales, se realizan análisis de accesibilidad para nueve (9) escenarios: la situación actual y ocho (8) propuestas de redireccionamiento. Las propuestas se evalúan a partir de los cambios que se generan en dos variables: tiempo medio de viaje y porcentaje de población beneficiada. Analizando los impactos observados en cada caso, se define cuál propuesta beneficiaría más al municipio.

### Palabras clave

Accesibilidad, Cobertura, GPS, Planificación, Sentido vial.

### Abstract

This research applies the methodology of supply of transport infrastructure; using GPS devices

operational characteristics of the network and current conditions of urban accessibility are determined. It aims to define the most optimal road directions for the Municipality of Riosucio (60.000 inhabitants, Caldas, Colombia). The hypothesis is that with an adequate road direction, mobility features will be improved and this improvement is reflected in a high quality of life for residents. In order to propose changes to the road direction structure, nine (9) accessibility analysis were done: current scenario and eight (8) road direction proposals. Proposals are evaluated from the changes generated on two variables: Average travel time and percentage of covered population. Analyzing the impacts observed in each case, the research defined which proposal will bring more benefits to the municipality.

### Keywords

Accessibility, Coverage, GPS, Planning, Road direction.

### 1. Introducción

La población de Riosucio (Caldas - Colombia), ubicada a 5° 24' de Latitud Norte y 75° 40' de Latitud Oeste, a una altura de 1783 m.s.n.m. [1], posee un área total de 422 Km<sup>2</sup> [2], sirvió como soporte aplicativo de la metodología que en este artículo de investigación se expone.

El objetivo de las infraestructuras para el transporte es que cumplan adecuadamente la función para la cual han sido construidas, permitiendo una movilidad con altos estándares desde el punto de vista de rapidez en la comunicación, seguridad, economía y comodidad. La presente investigación se enmarca como una propuesta metodológica de aplicación de los modelos de oferta del transporte, en donde mediante un análisis de accesibilidad media global se define técnicamente la mejor opción de redireccionamiento vial de una red de infraestructuras del transporte.

La primera definición técnica del concepto de accesibilidad se presentó a mediados del siglo XX: "... the potencial of opportunities for interaction." [3]; a pesar de ello, de este término se habla desde la segunda década del mismo siglo [4], existiendo también diversas definiciones del mismo [5, 6, 7]. Desde el punto de vista geográfico, el término se define como una medida de la facilidad de comunicación entre actividades mediante el uso de un determinado modo de transporte [8, 9].

Un estudio de redireccionamiento vial, debe obedecer a resultados de análisis serios que garanticen la selección de buenas decisiones, es por ello que los análisis de accesibilidad media global urbana pueden ser aplicados para establecer los impactos generados por las modificaciones que se realicen a la estructura operativa y/o física de la red vial.

Actualmente, existen una gran variedad de aplicaciones relacionadas con los estudios de accesibilidad, encontrando que se han abordado criterios como: análisis de cobertura [10]; operatividad de modos de transporte [11]; sostenibilidad [12, 13, 14]; justicia [15]; cohesión social [16, 17, 18]; demografía [19]; acceso a parques públicos [20]; desarrollo económico [21, 22, 23, 24, 25]; prestación y localización de servicios [26, 27, 28], entre otros tópicos. Luego de la presente introducción, en la sección 2 se aborda la metodología propuesta por esta investigación para el estudio de redireccionamiento vial; en la sección 3 se presentan los principales resultados obtenidos y finalmente, en la sección 4 se presentan las principales conclusiones del estudio.

## 2. Metodología

La investigación se desarrolla en seis etapas: a) determinación de las características físicas de la red; b) validación y georeferenciación de la red de infraestructuras del transporte; c) determinación de las características operativas de la red mediante equipos GPS; d) cálculo de la velocidad de operación promedio de cada uno de los arcos que componen la red; e) cálculo de la accesibilidad media global ofrecida por la red de infraestructuras y f) cálculo de los porcentajes de población cubierta por las curvas isócronas obtenidas.

### 2.1 Determinación de las características físicas de la red de infraestructuras

La agregación de nodos y arcos (segmentos de vía) conforman la llamada red de infraestructuras del transporte. Para este caso, la red está compuesta por más de 650 arcos y más de 460 nodos, los cuales en conjunto son base fundamental para los respectivos análisis de accesibilidad media global. Mediante cartografía proporcionada por la administración municipal y con recorridos realizados directamente en campo, fue posible tomar los datos de las características físicas de la red de infraestructuras del transporte de la ciudad.

### 2.2 Validación y georeferenciación de la red de infraestructuras

Mediante equipos GPS instalados en diferentes vehículos automotores (Auto, taxi, Motocicleta y Transporte Público Colectivo Urbano) fue posible almacenar datos de posicionamiento satelital, permitiendo detectar posibles inconsistencias de la red vial que inicialmente fue georeferenciada. En el proceso de validación se lleva a cabo un inventario en el cual se superpone sobre la red vial existente, los recorridos registrados por los GPS, identificando los elementos de la red que requieren confirmación.

### 2.3 Determinación de las características operativas de la red de infraestructuras

Las velocidades de operación se calcularon a partir de datos reales de monitoreo y reflejan las verda-

deras características operacionales de los arcos que conforman la red vial, lo cual es bastante destacable ya que en muchos casos se asumen las velocidades de operación según la categoría de la vía [29]; no obstante, en los últimos años se han realizado investigaciones de accesibilidad que toman las velocidades reales de los vehículos [30].

## 2.4 Cálculo de la velocidad de operación promedio de los arcos

La velocidad de operación fue calculada a partir de datos obtenidos de los dispositivos GPS, esto permitió generar una base de datos con los recorridos de los vehículos en más del 90% de los arcos que conforman la red vial. En el procesamiento de la información se requirió de la aplicación de diferentes cálculos de acuerdo al desarrollo de la investigación, resaltándose que la variable velocidad de operación determina el comportamiento general de la red y se convierte en elemento primordial para los cálculos de accesibilidad [31], teniendo que la metodología de obtención de la misma influye directamente en los en la precisión y veracidad de los resultados [32].

La velocidad de operación se determinó para cada arco de la red analizándose tres parámetros:

- a) La velocidad de operación del vehículo en un intervalo de tiempo entre dos puntos (Ec.1), donde,  $V_i$  = velocidad en Km/h;  $x_1, y_1$  = coordenadas del punto 1 en metros;  $x_2, y_2$  = coordenadas del punto 2 en metros;  $t$  = intervalo de tiempo en segundos entre los puntos 1 y 2. Este parámetro permite conocer la variabilidad de la velocidad en un arco específico.

$$v_i = 3.6\sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \quad (1)$$

- b) La velocidad de operación promedio de un vehículo sobre el  $i$ -ésimo arco (Ec. 2), donde,  $V_{ia}$  = velocidad  $i$  en el arco  $a$  (km/h);  $l_a$  = longitud del arco  $a$  en metros;  $t_1$  = tiempo de paso en el nodo inicial;  $t_2$  = tiempo de paso en el nodo final.

$$v_i^a = 3.6 \frac{l_a}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

- c) La velocidad de operación promedio para cada arco  $i$  de una determinada ruta (Ec.3), donde,  $V_a$  = velocidad promedio de operación del arco  $a$ ;  $n$  = número de datos de velocidad registrados en el arco  $a$ , para un periodo de tiempo dado. Esta velocidad fue usada para establecer las impedancias de la red.

$$\bar{V}_a = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^a}{n} \quad (3)$$

Los datos de velocidad de operación fueron cargados en el grafo de la red vial mediante el SIG, lo que permitió conocer de forma detallada las características de accesibilidad media global ofrecida por un modo de transporte en particular y por una configuración red vial determinada.

## 2.5 Cálculo de Accesibilidad

En este caso se desea saber cómo pueden acceder los vehículos a los diferentes sectores de la ciudad según las características operativas y físicas de la red, para lo cual se hace uso del SIG, una ventaja en el uso de los mismos es que permiten conocer el comportamiento de las redes de transporte mediante el uso de algoritmos [33]. La accesibilidad media global se calcula a partir del vector de tiempo medio de viaje ( $T_{vi}$ ), el cual representa el tiempo promedio de viaje desde el nodo  $i$  hasta los demás nodos de la red en estudio. Mediante la matriz de distancias mínimas y conociendo la velocidad de operación promedio de cada arco, se procede a calcular la matriz de tiempos promedios mínimos de viaje, en la cual se minimiza el tiempo de viaje entre todos los nodos de la red. Con la anterior matriz, es posible calcular el vector de tiempo promedio de viaje ( $T_{vi}$ , Ec.4), donde,  $T_{vi}$  = tiempo de viaje mínimo promedio entre el nodo  $i$  y los demás nodos de la red;  $t_{vi}$  = tiempo de viaje mínimo entre el nodo  $i$  y los demás nodos de la red;  $n$  = número de nodos de la red.

$$\bar{T}_{vi} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{vi}}{(n-1)} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n ; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (4)$$

El vector (n x 1) de tiempo medio de viaje, se relaciona con las coordenadas geográficas (longitud y latitud) de cada nodo para generar una matriz de orden (n x 3), por medio de la cual se obtienen las curvas isócronas de tiempo medio de viaje mediante la aplicación del modelo geoestadístico kriging ordinario con semivariograma lineal para la predicción de los tiempos medios de viaje.

El análisis de accesibilidad media global se realizó para nueve (9) escenarios, el primero es la situación actual y los otros corresponden a diferentes propuestas de redireccionamiento vial. Éstas se evalúan a partir de los cambios que se observan en dos variables: tiempo medio de viaje y porcentaje de cobertura de la población.

## 2.6 Cálculo de los porcentajes de cobertura de la población

Luego de conocer los resultados que cada una de las propuestas de redireccionamiento vial arrojan desde la variable tiempo medio de viaje, fue posible relacionar las curvas isócronas de cada caso con el dato de población. Las comparaciones se realizan en términos de porcentaje de población cubierta por las diferentes curvas de tiempo medio de viaje, lo cual hace que se deba asumir una densidad poblacional uniforme, dada la inexistencia de datos desagregados de población. Aplicaciones similares de cobertura se han realizado en otras investigaciones [34].

## 3. Principales resultados

La red vial de la ciudad de Riosucio posee una longitud de 60 Km., distribuidos así: 22% principal, 12% secundarias, 49% colectoras, 14% regional y 3% peatonal. Respecto a la velocidad de operación promedio, se obtuvo que a lo largo de la vía regional se observan las mayores velocidades promedio, no obstante, la mayor velocidad se registró en una Vía

Principal con 50,8 Km./h. Las velocidades máximas para la diferentes categoría son altas, considerando las características de funcionalidad de las mismas, excepto para las vías peatonales, así mismo, las velocidades mínimas se consideran normales y no relacionadas con posibles problemas de congestión vehicular, sino con la misma operación del modo como tal; las velocidades promedio encontradas son: vías principales 31 Km./h., secundarias 22 Km./h., colectoras 19 Km./h., regional 33 Km./h.

Las propuestas de redireccionamiento vial se evalúan a partir del cambio que se genera en la variable tiempo medio de viaje, la cual es directamente influenciada por las modificaciones de los sentidos viales de algunas vía que conforman la red vial.

### 3.1 Escenario “Situación Actual”

En la Figura 1 se aprecia la red vial analizada, correspondiente al escenario “Situación Actual”; los arcos resaltados en rojo son las vías que actualmente poseen sentido único. En la Figura 2 se observan las curvas de tiempo medio de viaje obtenidas.

Las características operativas de la red vial de la ciudad muestran que de forma general, la ciudad se cubre con tiempos medios de viaje de entre 5 y 17 minutos. Es el sector central del municipio (Central Business District – CBD) el que mejores condiciones de accesibilidad media global registra (color claro), las curvas se expanden a lo largo de las vías principales, se observa una mayor expansión de las curvas de tiempo medio de viaje en dirección norte que en dirección occidente – oriente y viceversa.



Figura 1. Red vial, escenario “Situación Actual”.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Curvas isócronas, escenario “Situación Actual”.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Análisis comparativo de propuestas de redireccionamiento vial

Luego de conocer los resultados particulares de cada una de las propuestas de redireccionamiento vial, se analizó la relación entre las curvas isócronas obtenidas con el dato demográfico con el fin de realizar una comparación de la cobertura de población. La comparación se realiza en términos de porcentaje de población cubierta por las diferentes curvas isócronas.

En la Figura 3 se observan los resultados comparativos de cobertura de población según las diferentes curvas isócronas obtenidas para cada una de las propuestas de redireccionamiento vial.

De la figura 3 se destacan los siguientes puntos:

- a) Las propuestas 3, 4, 6 y 8 son las únicas que refieren algún porcentaje de población cubierta por la curva de tiempo medio de viaje de 4,5 minutos, teniendo que es la propuesta N°3

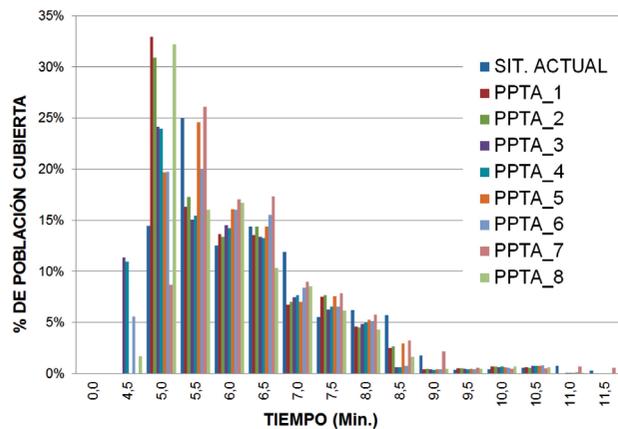


Figura 3. Porcentaje de población cubierta vs Tiempo medio de viaje para cada propuesta y para la situación actual.

Fuente: Elaboración propia.

la que mayor porcentaje de cobertura de esta curva isócrona refiere.

- b) Análogamente, observando los porcentajes de cobertura para la curva de 5 minutos, se tiene que todas las propuestas refieren algo de cobertura por esta curva de tiempo medio de viaje y que las propuestas 1, 2 y 8 son las que mayor porcentaje reportan con un valor superior al 30%.
- c) Analizando el extremo superior, se observa que para la curva de 11,5 minutos, la única propuesta que refiere cobertura para este tiempo medio de viaje es la propuesta N°7.
- d) Analizando la situación actual, se observa que reporta los mayores porcentajes de cobertura para las curvas de 7, 8 y 8,5 minutos, lo cual muestra que las propuestas de redireccionamiento que se han estudiado, sí mejoran en una proporción los tiempos medios de viaje que se presentan en la zona urbana del municipio.

Por otra parte, es posible obtener las Ojivas porcentuales que expliquen la relación entre las curvas isócronas y el porcentaje de población cubierta, con el fin de conocer en detalle el comportamiento de cada curva.

En la Figura 4 se observan los resultados obtenidos al respecto. La ojiva porcentual, mientras más a la derecha del origen se encuentre significa que se debe invertir un mayor tiempo medio de viaje para un determinado porcentaje de cobertura.

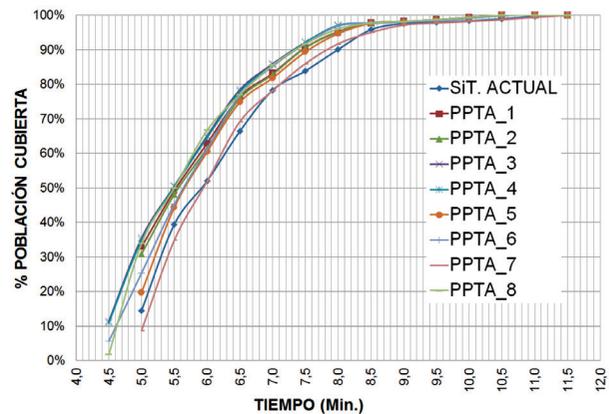
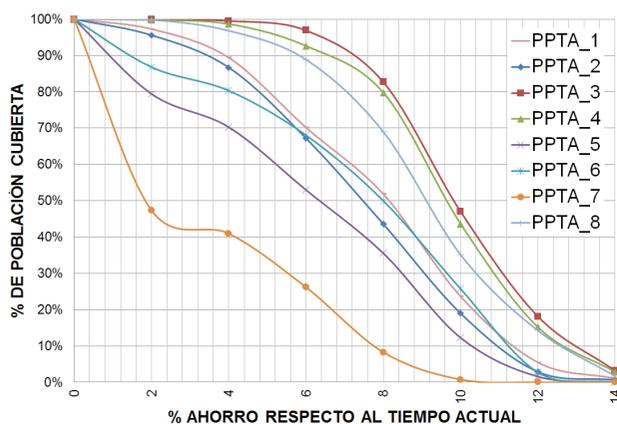


Figura 4. Ojivas porcentuales de la relación tiempo medio de viaje y % de población cubierta para cada propuesta y la situación actual. Fuente: Elaboración propia.

De la figura 4 se destacan los siguientes puntos:

- La propuesta N° 7 es la más deficiente desde el punto de vista de relación entre porcentaje de población cubierta y curva de tiempo medio de viaje, ya que se encuentra en gran parte a la derecha de la ojiva porcentual respecto al escenario “Situación Actual”.
- Existen tres propuestas que se ubican más a la izquierda de la situación actual, estas son las propuestas 3, 4 y 8.
- Haciendo la lectura del tiempo medio de viaje para una cobertura del 50% de la población, se tiene que éste tiempo varía entre los 5,47 y los 5,67 minutos para las propuestas, mientras que para la situación actual se encontraba cercano a los 6 minutos.
- Se tiene que para un tiempo de 10,5 minutos, todas las propuestas muestran una cobertura prácticamente del 100% de la población, lo cual muestra y ratifica que los tiempos medios de desplazamiento en la ciudad son bastante cortos, lo cual refuerza la necesidad de conocer las características reales de movilidad, con el fin de proponer corredores de desplazamiento acordes con dichas preferencias de movilidad.

Es posible realizar el mismo análisis entre las curvas de porcentaje de ahorro en tiempo medio de viaje y porcentaje de población cubierta, obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 5.



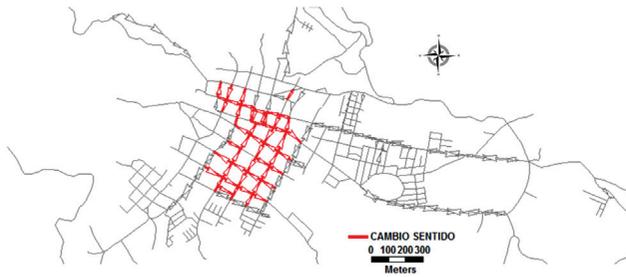
**Figura 5.** Ojivas porcentuales de la relación % de ahorro en tiempo medio de viaje y % de población cubierta para cada propuesta. Fuente: Elaboración propia.

De la figura 5 se destacan los siguientes puntos:

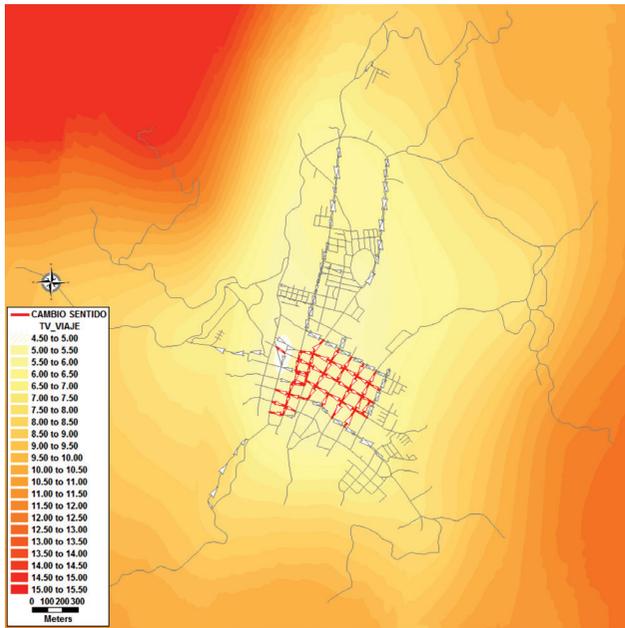
- Las propuestas 3, 4 y 8 son las únicas que refieren un ahorro del 2% respecto al tiempo medio de viaje de la situación actual para el 100% de la población.
- Para un porcentaje de ahorro en tiempo medio de viaje del 12%, las únicas propuestas que impactarían a más del 10% de la población serían las propuestas 3, 4 y 8, igual sucede si se observa para el porcentaje de ahorro en tiempo medio de viaje del 8%.
- Las propuestas que mayores beneficios reportan desde el punto de vista de mejorar las condiciones de accesibilidad son las propuestas 3, 4 y 8, en dicho orden, no obstante, para tomar una decisión de cual propuesta definir como la mejor, se deben relacionar estos resultados con la configuración espacial de las curvas isócronas.
- Las propuestas que se encuentran más cerca al origen de la gráfica son las que presentarían un desempeño más deficiente respecto a la situación inicial; por ejemplo, si se observa la ordenada de 40% de la población cubierta, se observa que la propuesta N°7 sería la más deficiente, le siguen en su orden las propuestas N° 5, 2, 6 y 1, 8, 4 y 3.
- Solo existen tres propuestas que refieren unos pequeños porcentajes de la población con porcentajes de ahorro de hasta el 14%, estas son las propuesta N°3, 4 y 8.

### 3.3 Propuesta seleccionada

Como resultado de los análisis preliminares de las propuestas de redireccionamiento, la propuesta N°3 se perfilaba como la más óptima desde el punto de vista de porcentaje de ahorro de tiempo medio de viaje, no obstante, al verificar en campo la implantación de dicha propuesta, se encontró la necesidad de generar pequeñas modificaciones a la misma, generándose la propuesta de redireccionamiento vial N°8 (Ver Figura 6), la cual es finalmente seleccionada como la más adecuada.



**Figura 6.** Propuesta seleccionada.  
Fuente: Elaboración propia.

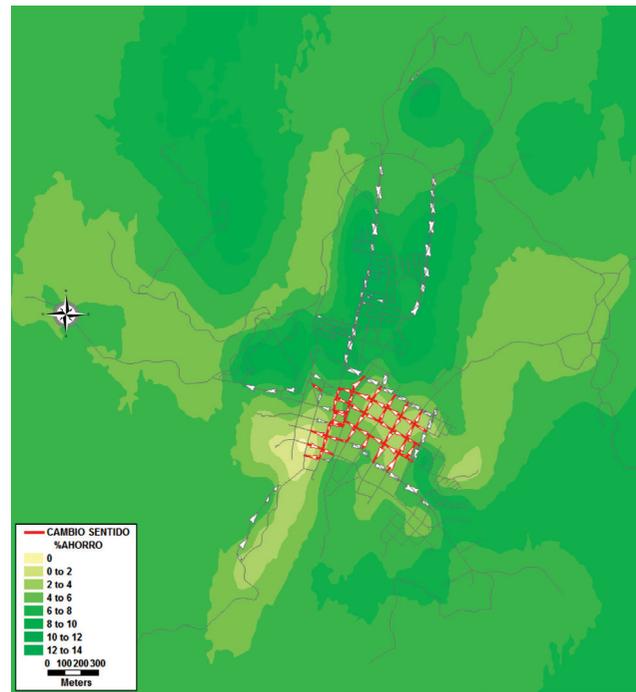


**Figura 7.** Curvas isócronas para la propuesta de seleccionada. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7 se observan las curvas isócronas obtenidas al aplicar esta propuesta; se observa que la menor curva de tiempo medio es de 4,5 minutos, y cubre un pequeño sector céntrico de la ciudad; las curvas de tiempo medio de viaje varían en el rango entre 4,5 y 15,5 minutos aproximadamente.

De forma general, se obtuvo que el comportamiento de las curvas es muy semejante al que se logró con las otras propuestas de redireccionamiento, en donde el sector que actualmente refiere unas condiciones de accesibilidad más deficientes es el sector noroccidental, así mismo, que las curvas de tiempo se expanden más en el sentido norte – sur y viceversa que en el sentido oriente – occidente, lo cual es debido a la configuración espacial de las infraestructuras del transporte como tal.

En la Figura 8 se observa el resultado de comparar las curvas de tiempo medio de viaje de la propuesta seleccionada y las curvas isócronas de la situación actual. El resultado de esta comparación se encuentra expresado en el porcentaje de ahorro en tiempo medio de viaje.



**Figura 8.** Curvas de porcentaje de ahorro en tiempo medio de viaje. Relación entre la propuesta seleccionada y la situación actual. Fuente: Elaboración propia

Se resalta que tan sólo una pequeña área al suroccidente del CBD refiere un porcentaje de ahorro de tiempo nulo, así mismo, se observa que el CBD del municipio muestra porcentajes de ahorro entre el 2% y 8% respecto al tiempo medio de viaje inicial.

Se obtuvo que en el sector norte de la ciudad se tienen porcentajes de ahorro de tiempo que llegan en algunos casos hasta el 14% respecto al tiempo medio de viaje de la situación actual, así mismo, se detecta que las curvas de mayor porcentaje de ahorro están cubriendo sectores con un uso del suelo residencial, así como puntos de atención en salud como el Hospital o atención en seguridad como la estación de policía, lo cual es un punto a favor para la selección de esta propuesta.

Esta propuesta se selecciona por la combinación de tres variables:

- a) Las posibilidades de implantación en campo; esta variable hizo primar la propuesta N°8 sobre la propuesta N°3, en donde ésta última presentaba mayores problemas de implantación dadas las características topográficas de algunos arcos que pretendían modificar su direccionalidad.
- b) Configuración de las curvas de porcentaje de ahorro en tiempo medio de viaje; se observa que es el sector norte del casco urbano del municipio el que mayores ahorros de tiempo medio de viaje refiere, encontrando que es allí donde un gran porcentaje de la población reside.
- c) Los porcentajes de ahorro en tiempo medio de viaje; ya que muestran claramente que la relación entre esta propuesta y la situación actual, hay un importante porcentaje de población beneficiada.

La propuesta comprende la unificación del sentido vial de 5,1 kilómetros del área central de la ciudad. La implantación de este nuevo direccionamiento vial se debe realizar de forma escalonada en el tiempo, por lo cual, se propone que el cambio en sentidos viales y/o la unificación de éstos se realice a lo largo de un período de tiempo mínimo de un año, con el fin de que los pobladores puedan ir asimilando los cambios de forma paulatina.

#### 4. Conclusiones

Durante el desarrollo de la investigación se destacó la existencia de un alto compromiso ciudadano con la búsqueda de mejorar las condiciones de movilidad en la ciudad, lo cual se evidenció claramente con la participación activa de las empresas transportadoras en conjunto con la administración y la comunidad.

Se resalta la inexistencia de categoría de vía local según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (Acuerdo 145 de 203), lo cual debe ser corregido con el fin de lograr una adecuada relación entre la definición de una vía como tal y su correspondiente funcionalidad, situación bastante común cuando se

habla de comparar lo que está aprobado mediante documentos escritos y lo que realmente existe.

Analizando el comportamiento de las curvas isócronas, se encontró que en dirección sur – norte hay una mayor expansión de las mismas, sobre todo hacia el norte, siendo en esta dirección hacia donde se presentan unas mejores características de la red vial del municipio, así mismo, la expansión occidente – oriente y viceversa, encuentra mayores dificultades hacia el occidente, lo cual se debe a las altas pendientes en dicha dirección. Las anteriores características fueron el común denominador de todas las propuestas de redireccionamiento vial estudiadas.

Los resultados de las propuestas N° 5 y 6 muestran que los direccionamientos evaluados generan que hacia el sector central de la ciudad, las personas que usan un medio automotor para desplazarse no experimenten ningún tipo de ahorro en su tiempo medio de viaje, por lo cual se considera que estas técnicas se emplean más en situaciones en las cuales se desea desestimular el uso de los modos motorizados en algún sector específico de una ciudad. Para este caso en particular, se busca generar una mayor cultura de organización en el flujo vehicular de la ciudad, sin necesidad de buscar un desestímulo directo en el uso de los vehículos automotores.

Se recomienda la implantación de la propuesta de redireccionamiento vial N°8 de forma escalonada en el tiempo, encontrando que entre todas las propuestas de redireccionamiento vial estudiadas, ésta fue la que mostró mayores bondades, como se explicó anteriormente.

La propuesta de unificación de sentidos viales debe ir acompañada de una MUY FUERTE campaña de difusión y socialización de las intervenciones, lo cual se logrará mediante programas radiales y de televisión comunitaria, así como con la instalación de una adecuada señalización vial, distribución de propaganda alusiva al cambio que se generara y en general una campaña educativa y comunicativa que permita a la comunidad irse adaptando a los nuevos sentidos viales del municipio.

Se comprueban que la metodología propuesta en esta investigación es una herramienta bastante poderosa para la toma de decisiones, ya que se configura como un soporte netamente técnico que permite conocer los impactos que se generan al proponerse una modificación en la direccionalidad de una red de infraestructuras; así mismo, esta metodología puede ser clave para el análisis de impactos de inserción de cierto tipo de infraestructura o dada la intervención de un sector de la ciudad que refiera cambios relacionados con las características operativas de la red, como por ejemplo la peatonalización de una calle.

## Referencias

1. Alcaldía Municipal de Riosucio – Caldas (2003). *Acuerdo Municipal 145, Plan Básico de Ordenamiento Territorial 2003 – 2009*, “una integración para el desarrollo social”.
2. Gobernación de Caldas (2009). *Plan Vial de Caldas 2008 – 2017*. Manizales.
3. Batty, M. (2009). *Accessibility: in search of a unified theory*. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36, 191-194.
4. Hansen, W. (1959). “How accessibility shapes land use”. *Journal of the American Institute of Planners*. 25, 2, 73-76.
5. Pirie, G. (1979). *Measuring accesibility: a review and proposal*. *Environment and Planning A.*, 11, 299-312.
6. Jones, S. (1981). *Accesibility measures: a literature review*. TRRL Report 967, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.
7. Martellano, D., Nijkamp, P., and Reggiani, A. (1995). *Measurement and Measures of Network Accessibility*. TI 5-95-207, Tinbergen Institute, Amsterdam.
8. Morris, J., Dumble, P., and Wigan, M. (1978). *Accessibility indicators in transport planning*. *Transportation Research*, A., 13, 91-109.
9. Zhu, X. and 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.
10. Straatemeier, T. (2008). *How to plan for regional accessibility? Transport Policy*. 127-137.
11. Escobar, D. and Garcia, F. (2012). *Territorial Accessibility Analysis as a Key Variable for Diagnosis of Urban Mobility: A Case Study Manizales (Colombia)*. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 48(0), 1385-1394.
12. Cheng, J., Bertolini, L. and Clercq, F. (2007). *Measuring Sustainable Accessibility*, *Transportation research Board: Journal of the Transportation Research Board*, 2017, pp.16-25.
13. Vega, A. (2011). *A multi-modal approach to sustainable accessibility in Galway*, *Regional Insights*, 2(2), pp.15-17.
14. Escobar, D., García, F. and Cadena, C. (2013). *Political determinants and impact analysis of using a cable system as a complement to an urban transport system*. *Proceedings of 1st International Conference on Innovation and Sustainability – ICOIS 2013*. Redesigning Relationships for Government, Business and Community. Kuala Lumpur (Malaysia).
15. Schultheis, E. (2014). *The Social, Geographic, and Organizational Determinants of Access to Civil Legal Aid Services: An Argument for an Integrated Access to Justice Model*. *Journal of Empirical Legal Studies*, 11(3), 541-577.
16. Schürman, C., Spiekermann, K. and Wegener, M., 1999. *Accessibility indicators*, *Berichteausdem Institut für Raumplanung*, 39, IRPUD, Dortmund.
17. López, E., Gutierrez, 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.
18. Farrington, J. and Farrington, C., (2005). *Rural accessibility, social inclusion and social justice: towards conceptualisation*, *Journal of Transport Geography*, 13(1), pp.1-12.
19. 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), pp.926-935.
20. Wang, D., Brown, G. and Mateo-Babiano, I. (2013). *Beyond Proximity: An integrated model of Accessibility for Public Parks*, Asian Journal of Social Sciences & Humanities, 2(3), pp. 486-498.
  21. 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.
  22. Vickerman, R., Spiekermann, K. and Wegener, M. (1999). *Accessibility and economic development in Europe*, Regional Studies, 33(1), pp. 1-15.
  23. Holl, A. (2007). *Twenty years of accessibility improvements. The case of the Spanish motorway building programme*. Journal of Transport Geography, 15 (4), 286-297.
  24. MacKinnon, D., Pirie, G., and Gather, M. (2008). *Transport and economic development*. In R. Knowles, J. Shaw, & I. Docherty, Editors, Transport Geographies: Mobilities, Flows and Spaces (pp. 10-28). Blackwell Publishers, Oxford.
  25. Ribeiro, A. and Silva, J. (2011). *Space, development and accessibility between Portugal and Spain: the last frontier*, Revista Portuguesa de Estudos Regionais, 27, pp.7-14.
  26. Calcuttawala, Z. (2006). *Landscapes of Information and Consumption: A Location Analysis of Public Libraries in Calcutta*, in Edward D. Garten, Delmus E. Williams, James M. Nyce (ed.) 24 (Advances in Library Administration and Organization, Volume 24), Emerald Group Publishing Limited. pp. 319-388.
  27. Park, S. (2012). *Measuring public library accessibility: a case study using GIS*, Library & Information Science Research, 34(1), pp. 13-21.
  28. Higgs, G., Langford, M. and Fry, R. (2013). *Investigating variations in the provision of digital services in public libraries using network-based GIS models*, Library & Information Science Research, Vol.35(1), pp. 24-32.
  29. Burns, C.M. and 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.
  30. Li, Q., Zhang, T., Wang, H. and Zeng, Z. (2011). *Dynamic accessibility mapping using floating car data: a network-constrained density estimation approach*. Journal of Transport Geography 19, 379-393.
  31. 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. [online] Available at: <<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.pdf>> [Accessed 10 april 2014].
  32. Herce, M. and Magrinya, F. (2002). *La ingeniería en la evolución de la urbanística*. Barcelona. Ediciones UPC.
  33. Zhang, H. and Gao, Z. (2009). *Bilevel programming model and solution method for mixed transportation network design problem*. Journal of Systems Science and Complexity, 22, 3, 446-459.