

# Metodología para la formulación de Planes de Acción en Infraestructura vial en el contexto de Planes de Movilidad Urbana: Caso de estudio Cali-Colombia

## Methodology for formulating action plans for infrastructure motorized transport network in the context of Urban Mobility Plans: study case Cali-Colombia

Juan David GONZÁLEZ [1](#); Diego Alexander ESCOBAR [2](#); Carlos Alberto GONZÁLEZ [3](#)

Recibido: 06/01/2017 • Aprobado: 18/01/2017

### Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología de investigación](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Discusión](#)
- [5. Conclusiones](#)
- [Referencias](#)

#### RESUMEN:

Este trabajo formula una metodología para la elaboración de planes de acción en infraestructura vial en el contexto de la movilidad sostenible. Se evaluaron diferentes tipos de proyectos en infraestructura: optimización, gestión y dotación. Los resultados establecen, con base en indicadores de tráfico, que éstos mejoran en un 42% con proyectos tanto de gestión como de optimización, y en un 46% con los proyectos de dotación. Finalmente, se establece que una combinación óptima de los tres tipos de proyectos puede conducir a una mejora del 49% en el desempeño general de la red.

**Palabras claves:** Modelos de oferta del Transporte, Planificación Urbana, Planes de Movilidad Urbanos.

#### ABSTRACT:

This work formulates a methodology for the elaboration of action plans in infrastructure motorized transport network in the context of sustainable mobility. Different types of projects in infrastructure were evaluated: optimization, management and provision. The results establish, based on traffic indicators, that these improve by 42% with projects both of management and optimization, and by 46% with the provision projects. Finally, it is established that an optimal combination of the three types of projects can lead to a 49% improvement in the overall performance of the network.

**Palabras claves:** Models of Transport Offer, Urban Planning, Urban Mobility Plans.

## 1. Introducción

El crecimiento del tráfico automotor y su efecto directo en la congestión de la red vial muestra lo

limitada que es la oferta de infraestructura vial instalada en las ciudades; esto afecta directamente la eficiencia económica y social de los habitantes (THOMSON & BULL, 2002). Colombia no es ajena a dicha problemática, se calcula que los costos anuales de la congestión en precios del año 2014 eran de más de 1.300 millones USD al año (REVISTA DINERO, 2014). El aumento de la demanda vehicular es consecuencia de la planificación basada en la oferta de infraestructura para la movilidad vehicular, en la cual nuevas vías tiene un papel de inducción de tráfico (NAVAZO, 2007), lo que significa que nuevos proyectos atraerán más vehículos. En el caso colombiano se evidencia en el aumento del parque automotor entre el año 1950 y 1997 cuyo crecimiento fue del 8% anual en promedio (PÉREZ, 2005). El gobierno nacional de Colombia, expidió en el año 2006 la Ley 1083 donde dispuso que los municipios debían contar con Planes de Movilidad Urbana (PMU) en los cuales se da prioridad a los modos de transporte no motorizados y transporte público optimizado. Esta Ley Nacional (CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2006) cambia las prioridades en los modos de transporte para los entornos urbanos, que se deben ver favorecidos dentro de los PMU, descritos en el artículo primero de la misma.

En el contexto de las ciudades colombianas, es claro que se deben fomentar las redes de infraestructura para modos no motorizados: Cicloinfraestructura y red de andenes, como agentes del cambio hacia una movilidad sostenible. Estas redes han sido históricamente deficientes, en el caso de la ciudad de Cali (Colombia) la red de ciclorutas tiene cerca de 30 km de longitud que además no están conectados entre sí (PLAN INTEGRAL DE MOVILIDAD URBANA, 2015). Esto es el efecto del diseño orientado hacia las redes de transporte motorizado (LÓPEZ, 2014), que coparon los espacios disponibles de la sección vial la cual además, en sectores tradicionales, son muy angostas por pertenecer a períodos arquitectónicos Coloniales y Republicanos (CALI, 2014). No obstante, la metodología para la implementación de las redes de infraestructura para los modos motorizados, no es aún tan clara. Los objetivos del Plan de Movilidad son buscar el cambio modal a medios más sostenibles y también, tener una red de infraestructura que cohesione el territorio de manera eficiente y bajo una inversión suficiente (IHOBE, 2004).

A pesar de la Ley 1083 de 2006, la legislación colombiana no ofrece todavía ningún aporte a nivel metodológico para la formulación del plan de acción en infraestructura vial para la movilidad motorizada que contribuya a materializar el enfoque de sostenibilidad de los PMU. De hecho, todavía es común encontrar en ciudades colombianas que la formulación del Plan de Acción en infraestructura vial se basa en proyectos recopilados del componente de infraestructura del Plan de Ordenamiento Territorial, de Planes Viales anteriores (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, 2005), mesas de trabajo (ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2009) o que hagan parte de programas viales preconcebidos por las administraciones municipales. Un ejemplo claro son los lineamientos para Planes Integrales de Movilidad del Institute for Transportation and Development Policy ITDP, donde dice que la selección de proyectos pueden ser de proyectos "rescatados" de la ciudad o que deriven del análisis (MEDINA, 2012); estos proyectos son finalmente evaluados y priorizados (ESCOBAR & GARCÍA, 2011).

---

## 2. Metodología de investigación

### 2.1 Caso de estudio: La ciudad de Cali y su movilidad

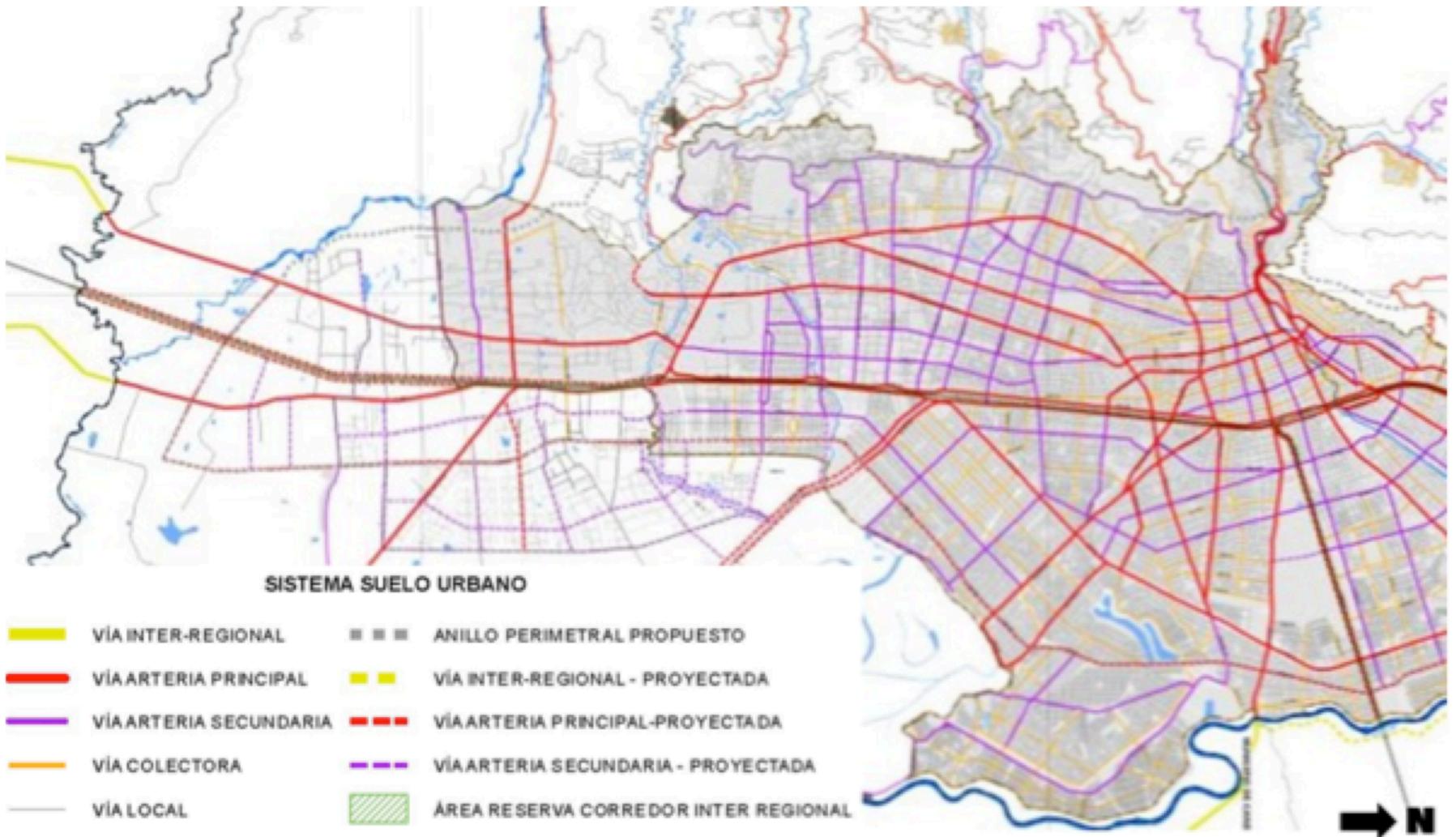
La metodología fue aplicada en la ciudad de Cali, la cual es la más importante del suroccidente colombiano y la tercera en importancia en el país, tiene una superficie urbana de 119,2 km<sup>2</sup> con una población también en el área urbana de 2.383.485 habitantes (ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI, 2014).

La ciudad actualmente está realizando la actualización de su Plan de Movilidad Urbana, en cabeza del Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM) [4]. La Figura 1 muestra la estructura de la infraestructura vial que se compone de vías interregionales, vías arterias principal, vía arteria secundaria, vías colectoras y vías locales de la ciudad de Cali. Un 63% la red vial primaria y un 58% la red vial secundaria se encuentra en regular estado.

En Cali se realizan 3.603.927 viajes diarios (ALCALDIA DE SANTIAGO DE CALI, n.d.); de estos viajes, el 37,1% se realizan en modos no motorizados y el 67,1% en modos motorizados. A pesar

que solo el 30,8% de los viajes se hacen en automóviles particulares o motocicletas, más del 90% parque automotor de la ciudad corresponde a estos dos tipos de vehículos. Del total de parque automotor registrado en la ciudad de Cali, el 61% corresponde a vehículos particulares y el 33% a motocicletas. Se tienen 449 intersecciones semaforizadas, representando el 66% del total de intersecciones que existen en la ciudad (Ver Figura 2).

Figura 1. Plano de jerarquización vial de Cali



Fuente: Mapa No. 30 "Sistema de Movilidad intraurbana e interurbana" POT2014

----

Figura 2. Intersecciones semaforizadas en la ciudad de Cali

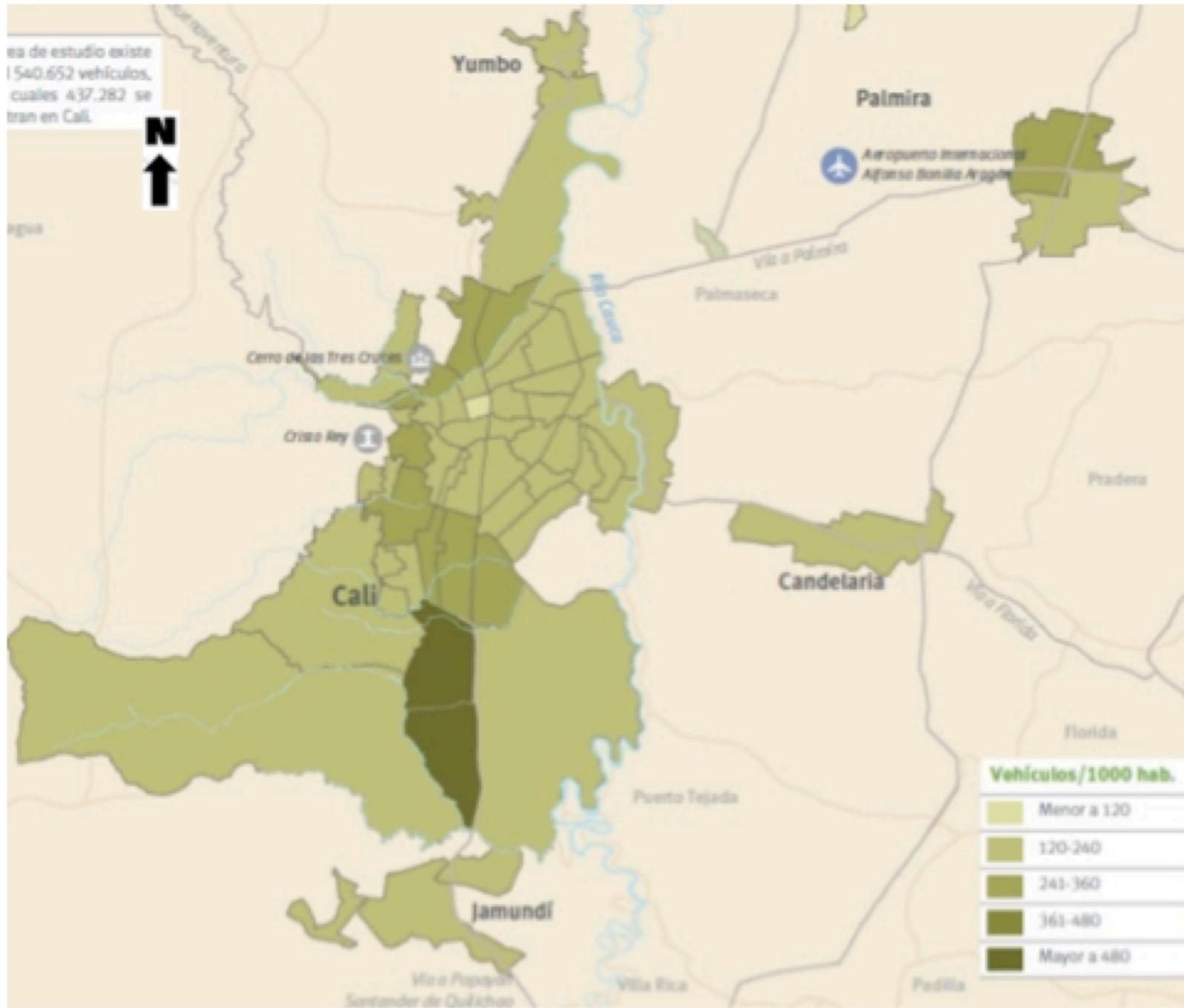


Fuente: DAPM equipo PIMU (2015).

## 2.2 La zona de análisis: La red vial de la zona sur de Cali

La zona sur de Cali corresponde principalmente al barrio Ciudad Jardín en la comuna 22. Esta comuna tiene una baja población residencial pero con la mayor tasa de motorización de la ciudad (Ver Figura 3), tiene un área aproximada de 11,6km<sup>2</sup> [5] y cuenta con la mayor oferta educativa de nivel superior en la ciudad, con cuatro (4) de las principales universidades; presenta además una vasta oferta de instituciones educativas privadas en todos los niveles escolares que provoca una alta población flotante. Adicional a esto los servicios de transporte público son muy precarios, en tanto que el sistema troncal del sistema masivo pasa por el extremo norte del sector con lo cual solo funcionan los servicios alimentadores y pretroncales que deben competir dentro de la misma infraestructura con el tráfico mixto.

Figura 3. Tasa de motorización en Cali y el área Metropolitana



Fuente: Encuesta de Movilidad 2015 (METRO CALI, 2015).

La oferta vial es precaria, ya que cuenta con dos ejes viales en sentido norte sur con dos carriles por sentido sobre el costado oriental de la comuna y todas las intersecciones se encuentran a nivel (Ver Figura 4). El PIMU tiene dentro de sus actuaciones incorporar un eje adicional de penetración en el costado occidental y un eje adicional en el costado oriental que formen el anillo vial perimetral, sumado a ejes transversales que comuniquen ambos costados del anillo e intersecciones a desnivel sobre los accesos urbanos. En síntesis la problemática de movilidad en zona sur parte desde una oferta insuficiente en redes servicios de transporte público y privado que, ante una alta demanda generada por la población flotante y la alta motorización del sector ocasiona muchas externalidades negativas.

Figura 4. Infraestructura vial en la zona sur de Cali



Fuente: DAPM

## 2.3 Los tipos de intervención en infraestructura vial y su priorización

La metodología propuesta parte del supuesto, que es posible tener hasta tres tipos de intervenciones para la red vial. La combinación acertada de estas intervenciones, mejoran no sólo las condiciones en la movilidad de motorizados sino que disminuyen costos sociales y económicos. Los tipos de intervención son: dotación, mejoramiento y optimización. La dotación de infraestructura se considera como todo tipo de acción que involucre construcciones nuevas (arcos de red, incremento en carriles, intersecciones a desnivel y pavimentación de vías); el mejoramiento es todo tipo de acción para mantenimiento, adecuación y rehabilitación de elementos ya existentes (mantenimiento calzada vial, adecuaciones geométricas, etc.) y la optimización es todo tipo de acción que busca a partir de lo existente optimizar su uso mediante gestión (semaforización optimizada, señalización, cambios de sentidos viales, gestión de la demanda, etc.).

Adicional a esto es necesario tener en cuenta qué tipo de acción es más deseada. En este caso de estudio, se pudo establecer que para la administración municipal en temas de movilidad es de suma importancia las acciones que apunten hacia los modos alternativos de transporte y el transporte público optimizado, sin embargo para el tema de infraestructura para los modos motorizados es más deseable tener medidas de gestión que no de dotación.

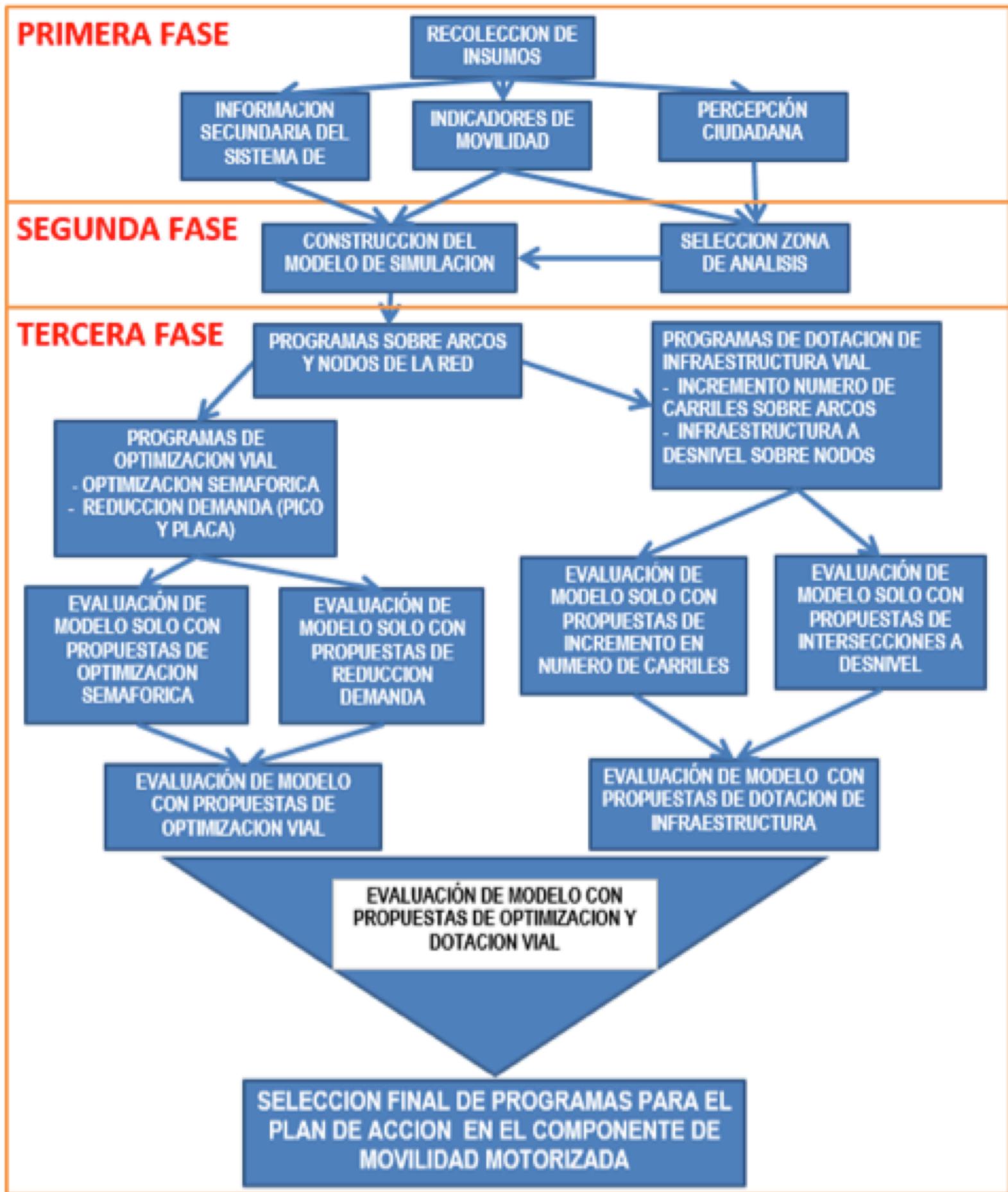
## 2.4 Diagrama de investigación y métodos

La metodología está estructurada en tres fases (Ver Figura 5): la primera consiste en la recolección de información primaria y secundaria; la segunda es la definición de la red a evaluar y la construcción del modelo de simulación y por último, la tercera fase consiste en simular por separado los proyectos de infraestructura: gestión, optimización y dotación sobre todos los componentes de la red (arcos y nodos) y con base en los resultados, combinarlos para llegar a un escenario deseado.

En el caso en particular de este estudio, dentro de la primera fase se decidió tomar la red de transporte privado ofertada en el sur del municipio. Las características socioeconómicas, alta población flotante, poca infraestructura vial y además, una desfavorable percepción ciudadana sobre la movilidad en la zona (EL PAIS, n.d.) hacen de ella un caso práctico de evaluar. La red a evaluar ofrece servicio a una zona aproximada de 16,6km<sup>2</sup> correspondientes a la comuna 22 y parte de la comuna 17 y con 35 km de red de vías arterias primarias y secundarias. Luego de haber escogido el sitio de análisis se debe recopilar la información que alimentará el modelo de simulación. En el año 2015 la administración municipal adelantó el Análisis Integral de la Red de Infraestructura Vial mediante contrato interadministrativo entre el DAPM y la Universidad del Valle; el contrato abordó el inventario de la infraestructura vial y diagnosticó las condiciones de operación de la misma; para ello se hizo una campaña de aforos sobre las arterias viales (primarias y secundarias) del municipio (DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL & UNIVERSIDAD DEL VALLE, 2015). Esta información se debió organizar de manera que pudiese ser usada para este trabajo, lo que incluyó la homogenización de la información y la expansión de los datos de cada estación a 24 horas de aforo y con todas juntas hallar la hora punta del sistema vial, la cual se presentó entre las 6:45 y las 7:45 de la mañana.

En la segunda fase, se construyó el modelo de simulación con las características geométricas de la red y la señalización existente. Para la elaboración de este modelo, se utilizó un software de simulación a nivel microscópico que usa modelos matemáticos del comportamiento de los conductores y la teoría del flujo del tráfico para simular el comportamiento del vehicular (CALIPER, 2012), se evaluó la red a nivel de vías arterias primarias y secundarias que por definición son las que permiten la conexión territorial. Durante la elaboración del modelo se pueden ir identificando las dificultades de la red (Ver Tabla 1), que posteriormente podrán ser evaluadas. En el caso de este estudio en particular, se pudo evidenciar que los ejes no tienen un número de carriles constantes, además que todas las intersecciones son a nivel y que a pesar de estar en su mayoría semaforizadas, en algunos casos pareciera que los ciclos semafóricos no son los óptimos, además que parece que la demanda vehicular es muy superior a la capacidad de la infraestructura.

Figura 5. Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Dificultades encontradas en la red a ser analizadas en la simulación

	<b>PROBLEMÁTICA</b>
<b>grafo</b>	La capacidad de la infraestructura parece insuficiente para la demanda
<b>arcos</b>	Los ejes viales no tienen un número de carriles constantes
<b>nodos</b>	Todas las intersecciones son a nivel, los ciclos semafóricos no parecen ser óptimos

En la tercera fase, se elaboró un escenario que marca la línea base en las condiciones de movilidad, adicional se elaboraron 4 escenarios de simulación y se mezclaron entre sí para lograr un escenario deseado. Los cuatro escenarios corresponde cada uno a los diferentes proyectos de infraestructura: optimización y dotación en nodos y dotación en arcos (en la red analizada no se observó elementos susceptibles de mejoramiento); de los resultados de cada escenario se tomaron los elementos con mejores desempeños, se combinaron los de dotación por un lado y los de optimización por el otro, se modelaron y se extrajeron los proyectos con mejores resultados y nuevamente se combinaron y modelaron para llegar a un óptimo en condiciones de movilidad, inversión en infraestructura y optimización de la misma bajo el fundamento que debe haber una congestión moderada, dado que la provisión de infraestructura es a largo plazo incapaz de disminuirla por completo (DURANTON & TURNER, 2011).

En cuanto a los proyectos de dotación en infraestructura (tanto en arcos como en nodos), es importante aclarar que éstos tienen costos elevados en comparación de los demás proyectos. La valoración en la inversión económica es un elemento decisivo en el momento en que se deben priorizar las obras, dado que esto representa una parte importante de los presupuestos municipales con lo cual el análisis de costos beneficios tiene un efecto significativo a la toma de decisión (ELIASSON, BÖRJESSON, ODECK, & WELDE, 2014); además las obras de infraestructura vehicular tienen efectos directos en la inducción de la demanda (NAVAZO, 2007), fuera de esto estas infraestructuras tienen elementos que pueden poner en riesgo la vida de peatones (SAFETY, 2014) generando desconexión territorial para modos no motorizados.

### 3. Resultados

En el escenario base se pudo observar que hubo una alta carga vehicular para la infraestructura actual representada en largas filas debido a la baja capacidad de algunas intersecciones. Actualmente rige en la ciudad una medida llamada de Pico y Placa lo cual restringe la demanda dependiendo del último dígito de la placa vehicular (GONZÁLEZ-CALDERÓN, HENAO, & SÁNCHEZ-DÍAZ, 2011), con esta medida para la ciudad de Cali se disminuye la demanda en un 20% diario aproximadamente si se tiene en cuenta que son dos dígitos diarios y que los números en los vehículos matriculados son bastante homogéneos (DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL & UNIVERSIDAD DEL VALLE, 2015). En términos generales para todo el sistema, el modelo arrojó los siguientes resultados: Los viajes generados fueron en total 10571, de los cuales 5822 se completaron, 3278 no se completaron (quedaron dentro de la red), 1443 quedaron en cola y 28 no se lograron iniciar; la velocidad promedio fue de 13 kph; arrojando un retraso total de 2120 horas.

De las 11 intersecciones, las que presentaron los peores comportamientos fueron:

- Calle 16 con carrera 85: generó muchos retrasos debido al alto número de vehículos que circulaban sobre ella, las mayores dificultades se generaron con los giros a izquierda desde el oriente y el occidente.
- Calle 16 con carrera 100: Este nodo en particular presentó muchas dificultades sobre todo para los vehículos que se dirigían al occidente, esto ocasionado por el mal funcionamiento del nodo de la calle 25 con carrera 100, igualmente los vehículos que vienen del sur presentan retrasos de consideración.
- Calle 25 con carrera 100: Este nodo tiene problemas muy particulares en tanto que soporta un alto número de viajes urbanos e interurbanos, con lo cual movimientos como los que vienen del occidente tienen altos problemas de filas dado que tienen prioridad los vehículos que circulan en sentido norte sur.
- Calle 16 con carrera 105: es uno de los nodos de mayor complejidad funciona como una rotonda que permite todos los movimientos, tiene dificultad en todos los accesos, siendo el más crítico el de occidente.
- Calle 18 con carrera 122: los accesos más críticos son el norte y el sur.
- Calle 25 con carrera 122: es un nodo de alta importancia en tanto que se trata de uno de los accesos a la ciudad y por tanto alberga flujos desde y hacia dos municipios cercanos además de los viajes propios intra-urbanos, el giro con mayores dificultades es el movimiento a izquierda de los vehículos que vienen del norte, es decir, los vehículos que del municipio de Cali se dirigen hacia el municipio de Puerto Tejada, existe poca infraestructura para acumulación de vehículos y los tiempos semafóricos favorecen

- los viajes sur norte, haciendo que se interrumpa la circulación de los vehículos norte sur.
- Calle 18 carrera 125: La principal afectación la sufren los movimientos que vienen desde el occidente puesto que el semáforo que funciona a cuatro fases tiene prioridad para los movimientos norte sur y sur norte, además este acceso solo tiene un carril por sentido lo cual genera mayores colas y tiempos de retrasos.

En el primer escenario se incluyeron proyectos de optimización que consistieron en semaforizar todos los nodos del sistema y optimizarlos con uno de los algoritmos de planeamiento propios del software (Ver Tabla 2). En este caso se usó el Método de Webster que busca minimizar la pérdida de tiempo en las intersecciones [3] con el algoritmo se obtiene la longitud óptima del ciclo (los tiempos máximos establecidos en Colombia para el ciclo semafórico es de 120 segundos) y el número de fases necesarias.

Tabla 2. Propuesta de actuación en el escenario 1

<b>ESCENARIO 1</b>			
<b>Elemento con proyecto</b>	<b>Propuesta de proyecto</b>	<b>Costo aproximado (Miles de dólares)</b>	<b>Tiempo estimado de ejecución (meses)</b>
Nodos	Semaforización óptima de todos los elementos	\$ 165	3

Fuente: Elaboración Propia

En nuestro caso particular, para este escenario se encontraron mejoras, con respecto al escenario base para los siguientes nodos:

- Calle 16 con carrera 85: Disminución casi del 50% en los tiempos de demora por vehículos y totales.
- Calle 16 con carrera 100: Disminución en un 38% en los tiempos totales de demora y 47% en los tiempos de demora promedio por vehículos
- Calle 25 con carrera 100: Disminución en 95% los tiempos de demora de los vehículos que vienen de occidente, pero un aumento de la demora en más de 10 veces.
- Calle 25 con carrera 122: Disminución del 95% en los tiempos de demora por vehículos y totales, sin embargo dicha disminución está relacionada con el represamiento vehicular generado en el nodo al norte (calle 25 con carrera 100), provocado por el semáforo en el sitio.

El segundo escenario se incluyeron proyectos de optimización de la infraestructura, dado que se percibió que la demanda es muy alta comparada con la oferta instalada se optó por hacer una reducción de la demanda vehicular (Ver Tabla 3). En el caso de estudio se propone una reducción del 50% del total de la demanda lo que quiere decir una reducción al 62% de la demanda actual, teniendo en cuenta la actual restricción por pico y placa; para este escenario se mantuvieron las demás condiciones actuales de la red. En los resultados de este escenario se encontraron mejoras, con respecto a los nodos de menor desempeño en el escenario base así:

- Calle 16 con carrera 85: Disminución del 52% en los tiempos totales y 41% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 16 con carrera 100: Disminución del 89% en los tiempos totales y 90% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 25 con carrera 100: No hubo mejoras significativas, por el contrario se aumentaron los tiempos debido a que por la disminución en volúmenes, todos los vehículos lograron ingresar al nodo (situación que no se logró en el escenario base) aumentando los tiempos de retraso total.
- Calle 16 con carrera 105: Disminución del 78% en los tiempos totales y 74% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 18 con carrera 122: Disminución del 61% en los tiempos totales y 57% en los tiempos promedio de demora.

- Calle 25 con carrera 122: A pesar que presenta disminución en los tiempos, se evidencia que aún persisten los inconvenientes en este nodo sobre todo para los vehículos que vienen del norte.
- Calle 18 carrera 125: Se evidencia disminución, sin embargo no es tan representativa.

Tabla 3. Propuesta de actuación en el escenario 2

<b>ESCENARIO 2</b>			
<b>Elemento con proyecto</b>	<b>Propuesta de proyecto</b>	<b>Costo aproximado (Miles de dólares)</b>	<b>Tiempo estimado de ejecución (meses)</b>
Grafo	Reducción de la demanda de la red vial	\$ 28	3

Fuente: Elaboración Propia

Un tercer escenario evaluó el desempeño de la red con dotación sobre arcos incrementando el número de carriles para todos los arcos de la red (Ver Tabla 4). En el caso de los tramos no homogéneos, es decir que varían el número de carriles a lo largo de su recorrido, se homogenizó con el segmento de más carriles en el tramo, esto manteniendo las demás condiciones de la infraestructura como actualmente funcionan. Los principales resultados obtenidos fueron:

- Calle 16 con carrera 85: Disminución del 40% en los tiempos totales y 60% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 16 con carrera 100: Se aumentan los tiempos de mejora con respecto al escenario base.
- Calle 25 con carrera 100: Se mejoraron los tiempos en partes de la intersección, sin embargo persisten los problemas para los flujos desde occidente.
- Calle 16 con carrera 105: Mejora para los movimientos desde occidente pero en deterioro de los otros accesos, debido a que se amplía la infraestructura y más movimientos se ven afectados.
- Calle 18 con carrera 122: Disminución del 78% en los tiempos totales y 82% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 25 con carrera 122: A pesar que presenta disminución en los tiempos, se evidencia que aún persisten los inconvenientes en este nodo sobre todo para los vehículos que vienen del norte.
- Calle 18 carrera 125: Aumentan los tiempos de viaje en todos los accesos, se debe aclarar que dicho comportamiento se debe a que mayor cantidad de vehículos llegan a este nodo, siendo su actual configuración inadecuada para soportar todos los viajes.

Tabla 4. Propuesta de actuación en el escenario 3

<b>ESCENARIO 3</b>			
<b>Elemento con proyecto</b>	<b>Propuesta de proyecto</b>	<b>Costo aproximado (Miles de dólares)</b>	<b>Tiempo estimado de ejecución (meses)</b>
Arcos	Incremento en el número de carriles y homogenización de tramos a todos los arcos	\$ 9.710	24

Fuente: Elaboración Propia

El siguiente escenario a evaluar es un escenario de dotación de infraestructura en nodos, en el cual

todos los nodos de la red se evaluaron con infraestructura a desnivel (Ver Tabla 5). Desde ese punto de vista se debe hacer la mayor claridad posible acerca del objetivo de este escenario en tanto que no se evalúa el diseño de la infraestructura a desnivel sino en el desempeño del tráfico cuando no tiene conflictos a nivel en las intersecciones; con lo cual y para el mejor manejo en la toma de resultados se debe mantener la configuración actual de la infraestructura solo elevando algunas calzadas que deben mantener forma y distancia original e incorporando la menor cantidad posible de arcos nuevos. Los principales resultados en el caso de estudio fueron:

- Calle 16 con carrera 85: Disminución del 54% en los tiempos totales y 50% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 16 con carrera 100: Disminución del 58% en los tiempos totales y 52% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 25 con carrera 100: Tiene mejoras de cerca del 80% y además se resuelven favorablemente los giros, acción además que favorece al nodo de la calle 16 con carrera 100.
- Calle 16 con carrera 105: Tiene mejoras globales, sin embargo no se pudieron eliminar los conflictos, con lo cual el acceso del sur tiene los peores desempeños.
- Calle 18 con carrera 122: Disminución del 80% en los tiempos totales y 92% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 25 con carrera 122: Disminución del 86% en los tiempos totales y 95% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 18 carrera 125: Disminución del 89% en los tiempos totales y 96% en los tiempos promedio de demora.

Tabla 5. Propuesta de actuación en el escenario 4

<b>ESCENARIO 4</b>			
<b>Elemento con proyecto</b>	<b>Propuesta de proyecto</b>	<b>Costo aproximado (Miles de dólares)</b>	<b>Tiempo estimado de ejecución (meses)</b>
Nodos	Todas la intersecciones a desnivel	\$ 110.000	48

Fuente: Elaboración Propia

Luego de obtener resultados para cada escenario y comparados con el escenario base se elaboraron dos escenarios más, el primero que combinó los proyectos con mejores desempeños de optimización y el segundo que combinó los mejores desempeños en dotación.

El primero de los dos escenarios simulado tomó los elementos modelados de optimización (Ver Tabla 6). En nuestro caso se pudo verificar que para el escenario de optimización semafórica las intersecciones de mejor desempeño fueron: Calle 16 con carrera 85, Calle 16 con carrera 100, Calle 25 con carrera 122, y Calle 18 con carrera 125. Por otro lado en cuanto a la gestión por reducción de demanda, se simuló la reducción en un 60% de la demanda total vehicular, es decir, 75% de la demanda actual si se tiene en cuenta el pico y placa. El desempeño de este escenario para nuestro caso se muestra a continuación:

- Calle 16 con carrera 85: Disminución del 67% en los tiempos totales y 68% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 16 con carrera 100: Disminución del 31% en los tiempos totales y 41% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 25 con carrera 100: Hubo aumento en los tiempos de demora.
- Calle 16 con carrera 105 Disminución del 37% en los tiempos totales y 50% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 18 con carrera 122: Disminución del 57% en los tiempos totales y aumento del 56% en los tiempos promedio de demora.

- Calle 25 con carrera 122: Disminución del 43% en los tiempos totales y 6% en los tiempos promedio de demora (bastante bajos teniendo en cuenta que afecta los ingresos al municipio).
- Calle 18 carrera 125: Disminución del 39% en los tiempos totales y 56% en los tiempos promedio de demora, a pesar que se ve disminución en los tiempos la intersección aún tiene bajos niveles de servicio.
- En total la red tuvo una mejora del 50% para las demoras totales y del 34% para las demoras promedio por vehículo.

Tabla 6. Propuesta de actuación en el escenario 5

<b>ESCENARIO 5</b>			
<b>Elemento con proyecto</b>	<b>Propuesta de proyecto</b>	<b>Costo aproximado (Miles de dólares)</b>	<b>Tiempo estimado de ejecución (meses)</b>
Nodos	Semaforización optimizada en 4 intersecciones	\$ 60	3
Grafo	Reducción en la demanda	\$ 28	3

Fuente: Elaboración Propia

El segundo de los dos escenarios a simular es la combinación de los programas de dotación de infraestructura tanto para arcos como para nodos (Ver Tabla 7). De la evaluación hecha previamente se pudo identificar que en cuanto a incremento en el número de carriles para nuestro caso los que tuvieron mejor desempeño fueron: La homogenización de toda la calle 25, es decir que las dos calzadas en todo su recorrido tengan tres carriles; toda la calle 16 y 18 con tres carriles por calzada; la carrera 105 con un carril adicional por sentido de circulación; y la carrera 125 con un carril adicional para el sentido que de occidente viene hacia la intersección. (Dentro de los análisis se pudo identificar que esta vía tiene mayor pertinencia que la vía hacia Pance, carrera 122). En cuanto a intersecciones a desnivel se identificaron las siguientes: Calle 16 con carrera 85; Calle 16 con carrera 100; Calle 25 con carrera 100; Calle 16 con carrera 105; y Calle 25 con carrera 122. Los principales resultados de este escenario combinado son los siguientes:

- Calle 16 con carrera 85: Disminución del 98% en los tiempos totales y 99% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 16 con carrera 100: Disminución del 96% en los tiempos totales y 98% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 25 con carrera 100: Disminución del 65% en los tiempos totales y 82% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 16 con carrera 105 Disminución del 78% en los tiempos totales y 70% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 18 con carrera 122: Disminución del 37% en los tiempos totales y aumento del 56% en los tiempos promedio de demora.
- Calle 25 con carrera 122: Disminución del 90% en los tiempos totales y 96% en los tiempos promedio de demora (bastante bajos teniendo en cuenta que afecta los ingresos al municipio).
- Calle 18 carrera 125: Aumento del 22% en los tiempos totales y disminución del 38% en los tiempos promedio de demora.
- En total la red tuvo una mejora del 37% para las demoras totales y del 56% para las demoras promedio por vehículo.

Tabla 7 Propuesta de actuación en el escenario 6

<b>ESCENARIO 6</b>			
--------------------	--	--	--

<b>Elemento con proyecto</b>	<b>Propuesta de proyecto</b>	<b>Costo aproximado (Miles de dólares)</b>	<b>Tiempo estimado de ejecución (meses)</b>
Nodos	5 Intersecciones a desnivel	\$ 50.000	48
Arcos	Incremento de carriles a 17km de eje vial	\$ 4.716	24

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se debe elaborar un escenario final que combine tanto propuestas de gestión como de dotación de infraestructura, para ello y si es del caso se debe iterar en repetidas ocasiones hasta que sus resultados fueran acordes con las expectativas para el desempeño de la red (Ver Tabla 8). El escenario por tanto tiene las siguientes propuestas que serían el plan de acción en infraestructura vial motorizada:

- Optimización semafórica como elemento de gestión del uso del recurso vial para las intersecciones: Calle16 con carrera85; Calle25 con carrera85; Calle16 con carrera100; Calle18 con carrera122; Calle18 con carrera125; Calle25 con carrera125; y Calle18 con carrera127.
- Reducción de la demanda vehicular en un 20% adicional.
- Incremento en el número de carriles en la calle 25.
- Intersecciones a desnivel: Calle 25 con carrera 100.; y Calle 25 con carrera 122.

Tabla 8 Propuesta de actuación en el escenario 7

<b>ESCENARIO 7</b>			
<b>Elemento con proyecto</b>	<b>Propuesta de proyecto</b>	<b>Costo aproximado (Miles de dólares)</b>	<b>Tiempo estimado de ejecución (meses)</b>
Nodos	2 Intersecciones a desnivel, 7 con semaforización optimizada	\$ 20.105	24
Arcos	11 kilómetros de eje vial con carril adicional de circulación	\$ 3.052	24
Grafo	Reducción de la demanda al 60%	\$ 4.716	3

Fuente: Elaboración Propia

Con este escenario final se pudo constatar que existen mejoras sobre toda la red del 45% para las demoras totales y del 52% para las demoras promedio por vehículo, cabe aclarar que algunos nodos no tienen desempeños óptimos, sin embargo y como se mencionó anteriormente se debe llegar a un equilibrio y a un escenario de posible ejecución desde el punto de vista económico, ambiental y socialmente aceptable.

## 4. Discusión

Este trabajo presenta un método para la evaluación de infraestructura en el marco de ciudades sostenibles. Es importante aclarar que las redes de transporte motorizado y en particular en el caso de las ciudades colombianas aún se encuentran por desarrollar, esto quiere decir entonces que se cuenta con una oportunidad de ofertar una dimensión justa en proporciones para el transporte motorizado.

Esta metodología no tiene en cuenta el crecimiento del parque automotor, es decir, se evalúa con los volúmenes actuales partiendo del hecho que los planes de movilidad deben hacer esfuerzos para estimular el cambio modal hacia medios de transporte más sostenibles, esto es que la demanda de infraestructura vehicular crezca lo menos posible dentro del período de vigencia del plan.

Otro aspecto valioso logrado con la investigación es el de incluir una herramienta de modelación que está vigente en el mercado y cuyos resultados, generalmente, favorecen la construcción de infraestructura. Esto indica por tanto que a pesar de no contar con programas que den una visión más allá de los componentes de inducción de la demanda, gestión del tráfico, etc, si se puede tomar en cuenta dichos resultados, que con el ojo crítico del profesional pueden ser usados en favor de la movilidad sostenible.

Por otra parte se muestra un primer acercamiento metodológico y se abre la puerta a posteriores investigaciones. Esta metodología se puede ampliar teniendo en cuenta usos del suelo y patrones de viajes de la ciudad que se pueden condicionar con el modelo territorial esperado para el municipio.

---

## 5. Conclusiones

Es necesario que se desarrollen metodologías que materialicen los intereses en movilidad sostenible con la necesidad de cohesión del territorio que tienen los planes de movilidad. Estos intereses en materia de infraestructura vial deberán estar ligados a la gestión eficiente de la infraestructura instalada y construcción razonable de la nueva.

A propósito de ello con la simulación de todos los escenarios se pudo establecer que los impactos sobre todo el sistema que tienen tanto la semaforización como la gestión de la demanda (42% de mejoras en la condición de la red) son cercanos a los que tendrían construcción de nueva infraestructura (46% de mejoras en las condiciones de la red), pero que además al combinar todos estos tipos de proyectos se puede incrementar positivamente dicho impacto (49% de mejoras en la condición de la red, para el caso específico estudiado). Esto va en cumplimiento del objetivo de encontrar proyectos que fueran viables económicamente hablando y que tuvieran beneficios en favor de la movilidad en estas redes.

Dentro del marco de los planes de movilidad exigidos por el gobierno nacional a los municipios, existen aún muchos vacíos que poco a poco debe ser llenados con propuestas y metodologías de estudio, una de ellas es la elaboración de propuestas en infraestructura vial para la movilidad motorizada, para la cual no hay una metodología que conduzca a los proyectos necesarios para cada municipio; este trabajo formula una metodología que puede ser de mucho aporte a dicho campo dado que trae a colación la necesidad de identificar proyectos no solo de construcción de infraestructura sino también proyectos de optimización y mejoramiento de la red existente para una demanda que no debe ser creciente en el tiempo dado que la infraestructura actual está en sobrecapacidad.

Los resultados de la metodología hacen parte de un gran paquete de propuestas dentro de los planes de movilidad, con lo cual la sola aplicación de ella no constituiría la solución sino que sería parte de ella. Se modelaron en total siete escenarios más el escenario base que es el que retrata la situación actual del sistema vial del área de estudio; cuatro de los tres escenarios se constituyen en escenarios de propuestas en todos los componentes: gestión del tráfico en intersecciones, gestión de la demanda de tráfico, dotación en arcos de la red, dotación en intersecciones de la red; los otros dos son la mezcla de las diferentes propuestas: escenario de gestión, escenario de

dotación y el último escenario es el escenario que mezcla todas las propuestas que finalmente constituirá las propuestas en infraestructura vial para el área de estudio.

---

## Referencias

ALCALDIA DE SANTIAGO DE CALI (n.d.). *MovilidadSur\_POTyPIMU(Oct7-2016)*.

ALCALDIA DE SANTIAGO DE CALI (2014). Cali En Cifras 2015, 1–175.

<http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ (2005). Formulación del plan maestro de movilidad para Bogotá D.C.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (2009). *Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá*. Retrieved from

[https://www.metrodemedellin.gov.co/Portals/4/archivos\\_metro/proyectos/Plan\\_Maestro\\_Metro\\_2006-2030.pdf](https://www.metrodemedellin.gov.co/Portals/4/archivos_metro/proyectos/Plan_Maestro_Metro_2006-2030.pdf)

CALI, S. De. (2014). *Plan Especial De Manejo Y Proteccion Del Centro Historico De Cali*.

CALIPER, C. (2012). TransModeler Basics (p. 1)

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2006). Ley 1083 de 2006.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL, C., & UNIVERSIDAD DEL VALLE, C. (2015). Análisis Integral de la red de infraestructura vial para la movilidad motorizada en el municipio de Santiago de Cali

DURANTON, B. G., & TURNER, M. A. (2011). Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from U.S. Cities, *101*(October), 2616–2652. Retrieved from

<http://journalistsresource.org/studies/environment/transportation/fundamental-law-road-congestion-evidence-u-s-cities/>

EL PAIS, C. (n.d.). Debate\_ ¿cómo salir de la pesadilla vial del sur de Cali\_ - Cali - El País.pdf.

ELIASSON, J., BÖRJESSON, M., ODECK, J., & WELDE, M. (2014). Does benefit/cost-efficiency influence transport investment decisions? *Centre for Transport Studies*, 1–19.

ESCOBAR, D. & GARCÍA, F. (2011). *ANÁLISIS DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS VIALES Caso Manizales (Colombia)*.

GONZÁLEZ-CALDERÓN, C. A., HENAO, J. J. P., & SÁNCHEZ-DÍAZ, I. D. (2011). the Need for Congestion Pricing in Medellin: an Economic Perspective. *Dyna*. Retrieved from

<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/29578/39103>

IHOBE. (2004). Guia práctico para la elaboracion de planes municipales de movilidad sostenible, 104.

LÓPEZ, F. (2014). *Plan de mejora de la movilidad peatonal en torrelodones*.

MEDINA, S. (2012). *Planes Integrales de Movilidad - Lineamientos para una movilidad urbana sustentable*.

METRO CALI (2015). Encuesta de Movilidad Cali 2015.

NAVAZO, M. (2007). decalogo\_movilidad.

PÉREZ, G. J. (2005). La Infraestructura del Transporte vial y la movilización de carga en Colombia. *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional*, (64), 73.

PLAN INTEGRAL DE MOVILIDAD URBANA. (2015). *RT-InfraestructuralVialNM-Bicicleta*.

REVISTA DINERO. (2014). Costo anual congestión en Colombia sería de 3,9 billones. *Revista DINERO*, p. 2.

SAFETY, H. (2014). Pedestrian raffic Fatalities by State.

THOMSON, I., & BULL, A. (2002). La congestion del transito urbano: causas y consecuencias economicas y sociales. *Revista de La Cepal*, 76(10), 109– 121.

Nacional de Colombia Sede Manizales. Email: [judagoa@hotmail.com](mailto:judagoa@hotmail.com)

2. PhD en Gestión del Territorio e Infraestructuras del Transporte. Director Maestría en Infraestructuras y Sistemas de Transporte. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Email: [daescobarga@unal.edu.co](mailto:daescobarga@unal.edu.co)

3. Candidato a PhD en Architecture and Urban Studies. Investigador del Grupo de Transporte, Tránsito y Vías GITTIV de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, Cali-Colombia. Email: [cargonza6@gmail.com](mailto:cargonza6@gmail.com)

4. [http://www.cali.gov.co/publicaciones/implementacion\\_pimu\\_vision\\_pub](http://www.cali.gov.co/publicaciones/implementacion_pimu_vision_pub) online 3 de octubre de 2016

5. Según datos del Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM)

6. TransModeler User´s guide

7. El cálculo de los costos fueron hechos a partir de los calculados por el PIMU en el Plan de Acción y asumiendo una tasa promedio de \$ 3000 COP por cada \$1 USD.

8. El cálculo del tiempo de ejecución se basó en criterio propio.

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 29) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster)]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados