

# Propuesta de una nueva metodología para la planificación del transporte urbano

Víctor Cantillo \*

## Introducción

### 1. Antecedentes

Las ciudades colombianas están aún en proceso de consolidación: grandes grupos humanos se han ido desplazando desde las zonas rurales en busca de mejores condiciones de vida; la demanda de infraestructura y servicios es grande y los métodos de planificación utilizados no se han adaptado a las necesidades cada vez más crecientes. Esto ha dado origen a problemas que son técnica, económica y socialmente difíciles de resolver.

El problema del transporte ha sido típico representante de esta realidad, pues las ciudades (que son las que más necesitan de una planeación práctica para manejar un eficiente desarrollo del sistema de transporte) han carecido de una organización institucional y de la capacidad técnica necesaria. El transporte ha sido tratado como un grupo de elementos (infraestructura, equipos y operación) estudiados y proyectados de manera separada y por entes aislados; la fundamental interrelación entre sus partes no ha existido, y menos la estrecha vinculación entre el sistema de transporte y el sistema de

actividades, a los que se hace referencia más adelante.

En esta visión tradicional, algunas entidades gubernamentales planean y ejecutan proyectos individuales sin considerar que éstos pueden formar parte de un gran sistema, lo cual genera problemas como:

- *Ausencia de complementación en los proyectos.* Se implementan proyectos contrapuestos, o proyectos de tipo complementario son realizados con especificaciones incompatibles.
- *Ausencia de una adecuada evaluación económica.* Cada institución usa diferentes criterios económicos para justificar los proyectos, lo cual impide la comparación y la jerarquización.
- *Carencia de un adecuado diseño de proyectos.* Los proyectos de transporte son vistos como independientes, sin considerar la estructura de la demanda y la operación del tránsito, basándose fundamentalmente en los aspectos arquitectónicos y de diseño estructural. La experiencia en construcción prima sobre la modelación y predicción de impactos.
- *Tendencia a construir infraestructura «de respeto»,* muchas veces apelando al pretexto de que «vende más» ante la opinión pública.

---

\* Ingeniero Civil. Magíster en Ingeniería de Transporte y Tránsito. Actualmente profesor de las cátedras Vías y transporte, Diseño geométrico de vías, Materiales de construcción y topografía en el programa de Ingeniería Civil.

Por todo esto, el procedimiento ha conducido a una inversión ineficiente de los recursos, sin jerarquización y obedeciendo generalmente a decisiones de tipo político. Pero el problema real no se soluciona, y en algunos casos empeora. Todo esto se manifiesta en aspectos como la escasez y mal estado de la infraestructura, accidentalidad, congestión y demoras; situaciones que no deberían ser tan críticas en un país como el nuestro con baja tasa de motorización <sup>1</sup>.

### 1.1. Objetivos y premisas en una planificación sistemática

Planteado el problema, el propósito debe ser el mejoramiento del sistema para satisfacer la demanda, racionalizando el manejo de los cada vez más escasos recursos. En consecuencia, los organismos técnicos encargados deberán encaminar su gestión hacia objetivos generales como los siguientes:

- Apoyar el desarrollo coordinado de todos los sectores específicos de la ciudad, garantizando adecuada accesibilidad y fomentando proyectos de tipo social.
- Asegurar el uso eficiente de recursos.
- Mejorar o sostener condiciones ambientales y de hábitat de la ciudad.
- Aumentar la seguridad de los usuarios y comunidad en general.
- Favorecer la movilidad de sectores específicos de la población. Por ejem-

plo, a los usuarios de transporte público <sup>2</sup>, minusválidos o peatones, pero tratando al máximo de evitar conflictos.

El proceso de planificación exige que se establezca una jerarquización de los objetivos. La gran incertidumbre y poco conocimiento de las variables que inciden en el transporte urbano hace que el futuro sea difícilmente predecible, por lo cual los planes y proyectos deben trazarse para el corto o el mediano plazo.

Actualmente existen herramientas de tipo computacional que fueron desarrolladas para ayudar al analista de transporte en la determinación técnica y económica de las alternativas más favorables, así como la predicción de los impactos que éstas puedan generar. Por otra parte, la descentralización administrativa ha delegado a los municipios la responsabilidad del manejo del transporte urbano y ha creado el marco legal correspondiente <sup>3</sup>.

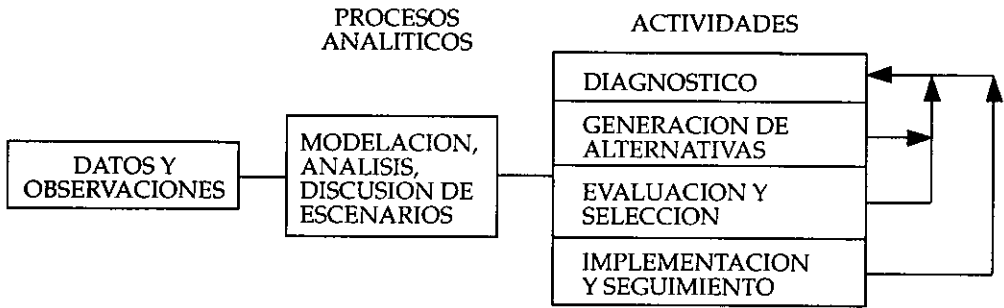
Con base en estos antecedentes y con el objeto de mejorar el proceso de decisión en materia de transporte a nivel urbano, a continuación se propone una metodología de planificación del transporte, que se basa en la nueva organización legislativa, hace énfasis en la modelación y busca un proceso de análisis sistemático y retroalimentador.

<sup>1</sup> La tasa de motorización en Colombia es de 20 habitantes por vehículo, mientras que en los países desarrollados es de 2 a 4 habitantes por vehículo.

<sup>2</sup> Considerando que cerca del 80% de los viajes motorizados se hacen en este modo, y sólo el 20% restante en vehículo particular.

<sup>3</sup> El Gobierno Nacional, mediante el decreto 080 de 1987 y otros complementarios, ha tratado de racionalizar la administración municipal y entregar a las ciudades los implementos para su gestión.

Las metodologías modernas y el proceso de planificación del transporte que aquí se muestran se basan en un esquema como el siguiente:



La propuesta que aquí se hace está basada en dos premisas fundamentales:

- a. Tratamiento del sistema de transporte como un sistema multimodal, considerando todos los modos de transporte —auto, bus, taxi, colectivos, etc.—, todos los elementos del sistema —personas, mercancías, equipos, infraestructura—, todos los movimientos a través de él y, para cada flujo específico, el viaje total desde el origen hasta el destino.
- b. Considerar la interrelación entre el sistema de transporte y el sistema de actividades. El sistema de transporte consta de las tecnologías, redes, vías, vehículos y políticas de operación, administradas por organismos públicos y privados que lo gerencian, planifican, diseñan, construyen y operan. El sistema de actividades se refiere a la localización, tipo y tamaño de las actividades de la ciudad y a los hábitos o patrones sociales que determinan la distribución espacial y temporal de dichas actividades.

La interdependencia entre los sistema de transporte y de actividades fija la estructura de los flujos de tránsito en un momento determinado. Con el tiempo, se producen cambios en el sistema de activi-

dades en razón a los patrones de servicio previstos por el transporte y por cambios en la producción o crecimientos poblacionales; a su vez, estos cambios exigen que el sistema de transporte responda, adecuándose o anticipándose. Así se cierra el ciclo. De manera que esta relación recíproca no se puede ignorar en el proceso de planificación. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la demanda de transporte es derivada, en el sentido de que el viaje no es en sí una finalidad, sino que se constituye en un medio para ejercer otras actividades.

**2. Propuesta de un nuevo sistema de planificación**

Con los precedentes dados, la propuesta que se plantea se describe a continuación.

**2.1. Grupo de trabajo y funciones**

Se deberá conformar un grupo o comisión de transporte, que estaría conformado por: el alcalde municipal, el tesorero o secretario de Hacienda, el secretario de Obras Públicas, el director de Tránsito, el

director de Planeación Municipal y un representante del Concejo Municipal. Su objetivo es crear escenarios de planificación, fijar las políticas relevantes al transporte y actuar como organismo decisor. Este grupo se reunirá periódicamente, y además, cuando las circunstancias lo exijan, también podrán ser invitados representantes de la comunidad y sectores del transporte para que expongan sus necesidades.

Por otra parte, como integrante de la oficina de Planeación Municipal, se creará un ente de tipo técnico conformado por profesionales capacitados en transporte, quienes estarían interactuando con las demás dependencias de planeación para conocer en detalle los planes y programas que están en ejecución o se piensan implementar. Este grupo técnico se encargará de enmarcar los proyectos de transporte dentro de los objetivos fijados, de detectar las necesidades y de entregar información relevante a la comisión de transporte (nivel político) para la toma de decisiones y velar por la correcta implementación de éstas. La razón para ubicar al grupo técnico dentro de Planeación Municipal es para que tenga una continua información de los proyectos de dicho ente y, además, una permanente interacción con las otras dependencias.

En la comisión de transporte, los proyectos son analizados como parte de planes más generales o programas que son estudiados por el grupo técnico; ahora bien, la planeación debe estar desligada de la ejecución. Así que los proyectos que la comisión haya decidido realizar pasarán directamente al ejecutor, en este caso la Oficina de Tránsito, si es de gestión, o la Secretaría de Obras Públicas, si es de in-

fraestructura. En este punto el ejecutor no podrá hacer cambios, a menos que se encuentren fallas, en cuyo caso el grupo técnico las analizará, y la aprobación o no de las modificaciones será dada por la comisión de transporte.

La comisión gestionará la financiación presupuestaria y el grupo técnico determinará todas las especificaciones de detalle y hará el monitoreo del proyecto, a fin de mejorar las especificaciones cuando sea necesario y retroalimentarse con las experiencias obtenidas.

En proyectos específicos, el grupo técnico, con la aprobación de la comisión de transporte, podrá contratar con consultores privados la realización de estudios o solicitar la colaboración a entidades como el Ministerio de Transporte. En cualquiera de estos casos actuará como contraparte técnica.

El grupo técnico de planificación deberá crear canales eficientes de comunicación con los usuarios del sistema, los grupos cívicos, los operadores, las organizaciones relacionadas con el transporte y con la ciudadanía, quienes serán actores en la definición de problemas, especialmente de tipo local.

El proceso que debe seguirse en cada proyecto será de tipo secuencial. Teniendo identificados los problemas, se definirán proyectos a nivel de «ideas», las cuales se evaluarán en forma gruesa, se harán prediseños, se evaluarán, se ejecutarán y finalmente se realizará un monitoreo continuo. En este sentido, el que los proyectos continúen en las diferentes etapas dependerá mucho del tipo de proyecto analizado.

## 2.2. Identificación de proyectos

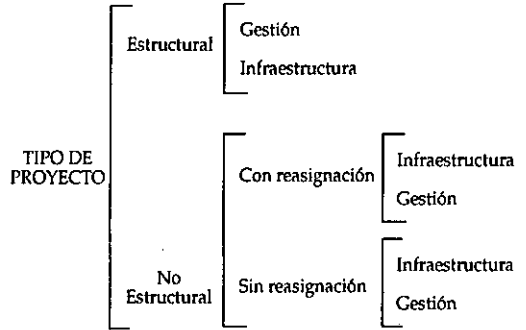
Para dar un tratamiento adecuado y usar una metodología acorde que haga compatibles los alcances y los principios de evaluación, debe abordarse una clasificación de proyectos como la que se enuncia:

Los proyectos deben ser diferenciados por los impactos esperados sobre la demanda, los impactos sobre la estructura de flujos y la forma como se intervendrá en el sistema.

Según los impactos esperados sobre la demanda, los proyectos podrán ser estructurales cuando los cambios en ésta son relevantes, y serán no estructurales cuando sólo se esperan cambios en la operación del sistema analizado. Estos últimos podrán pertenecer o no a planes más generales.

De acuerdo con los cambios producidos en los flujos, serán proyectos con reasignación o sin ésta. Los proyectos estructurales siempre producen reasignación; los no estructurales podrán o no producirla.

Finalmente, según el tipo de intervención, los proyectos serán de infraestructura o de gestión, aunque es muy difícil encontrar alternativas que únicamente contengan intervención en infraestructura o en gestión; sin embargo, es posible ubicar en qué área se sitúa el objetivo del estudio. El siguiente esquema describe esta clasificación:



La clasificación da lugar a seis tipos de proyectos, pero la diferencia metodológica principal se presenta en la modelación y evaluación. Los proyectos no estructurales se evalúan en la etapa de desarrollo y selección de alternativas; los estructurales, en cambio, se evalúan en un nivel estratégico. En cuanto se refiere a proyectos con reasignación o sin ella, existe una diferencia clara en la modelación, pues este hecho incide en el tamaño del área de influencia del proyecto y en la necesidad de usar herramientas computacionales para predecir la ruta de los usuarios.

Se definen dos niveles de planificación: un nivel estratégico que considere todo el sistema, y abarca todo el proceso general de planificación, y un nivel táctico que incluya solamente alguna parte o componente del sistema, pudiendo estar o no enmarcado dentro del nivel estratégico.

## 2.3. Secuencia que debe seguirse en los proyectos

**2.3.1. Proyectos estructurales.** En primera instancia se requiere que el grupo técnico, apoyado en los objetivos de la Oficina de Planeación y en asocio con la comisión de transporte, defina los posibles

«futuros escenarios de planeación» para enmarcar allí las diferentes hipótesis sobre el desarrollo de los sistemas de transporte y de actividades, a partir de los cuales se pasa a una etapa de identificación de proyectos estratégicos, los que aparecen a nivel de ideas como consecuencia de planes en ejecución y a partir del análisis de información de campo.

En la etapa siguiente debe ocurrir una generación de planes alternativos a partir de la lista de proyectos a nivel de ideas previamente identificados. El grupo técnico (conformado en la primera instancia) generará una serie de proyectos para los diferentes escenarios de planificación. Este plan potencial deberá ser consistente con los objetivos definidos y con las políticas diseñadas para ese fin.

Los planes alternativos pasan a una etapa de evaluación en la cual deberán ser utilizados modelos<sup>4</sup>, los cuales producen la información básica requerida para estimar los beneficios. Dichos beneficios provendrán de la comparación de los costos totales del plan que se plantea comparado con los mismos costos de una situación base o de referencia.

Definido el plan seleccionado, como resultado de la evaluación, es estudiado y aprobado o rechazado por la comisión de transporte. Si es aprobado, el grupo técnico entrega dichos proyectos a grupos de consultoría, previa licitación, con miras a obtener una serie de prediseños.

---

<sup>4</sup>Aquí se hace referencia al modelo clásico del transporte, del tipo cuatro etapas—generación, distribución, elección modal y asignación— que incluyen condiciones de equilibrio.

En el caso en que los costos obtenidos en los prediseños no sean sustancialmente diferentes de los estimados en las etapas precedentes, el proyecto pasará a proyecto definitivo y la comisión de transporte lo acepta e inicia los trámites para su ejecución.

**2.3.2. *Proyectos no estructurales.*** La secuencia que debe seguirse en este tipo de proyectos es la siguiente:

**2.3.2.1. *Identificación del problema.*** Algunos puntos o sectores presentan problemas de operación y requieren de una intervención técnica. Típicamente esto se manifiesta en el aumento de los flujos, demoras, congestiones, accidentes, que son claramente identificados por los usuarios, operadores, la comunidad y por el grupo técnico gracias al monitoreo y a la toma continua de información.

**2.3.2.2. *Generación de proyectos.*** Para solucionar (o aliviar) el problema, se generan alternativas al nivel de ideas del proyecto, que deben ser compatibles con los objetivos generales, se hace una evaluación *grosso modo* para decidir si la alternativa es rechazada o pasa a la etapa siguiente. Aquí es posible que se presenten proyectos estructurales o parte de éstos que necesiten ser evaluados en el nivel local; debe hacerse la observación de si existe complementariedad o contradicción entre las alternativas.

En esta etapa los usuarios y los operadores podrán dar ideas de proyectos, pero quien en definitiva hace los perfiles es el grupo técnico, el cual decidirá si éstos pasan o no a la siguiente etapa.

**2.3.2.3. *Prediseño y evaluación económica.*** Será indispensable contar con toda la in-

formación posible para definir el área de influencia y obtener un adecuado diagnóstico de la situación real. A partir de una serie de esquemas que surgen de los perfiles, se hará una estimación más precisa de los costos de cada alternativa, seleccionando aquellas que sean socialmente más atractivas, las cuales pasarán a una fase de prediseño y evaluación económica.

Los prediseños que se han hecho tanto para la componente física como operacional del proyecto serán evaluados usando paquetes computacionales, de los cuales existe una amplia gama para analizar intersecciones y simular localmente la operación de la red. Dichas herramientas serán descritas más adelante. En esta etapa intervienen los consultores privados, quienes harán los prediseños y evaluación económica en el caso de que el grupo técnico no cuente con los recursos para tal fin. De todas maneras el grupo deberá ejercer la interventoría y seguimiento.

*2.3.2.4 Diseño detallado, implementación y seguimiento.* Una vez aprobados los prediseños por la comisión de transporte, se entregarán a la Secretaría de Obras Públicas, a la Secretaría de Tránsito, o a las entidades a que corresponda la ejecución, que se encargarán de elaborar el diseño final con las especificaciones dadas por el grupo técnico. En este punto la evaluación será exhaustiva, para garantizar una definición precisa de los costos y beneficios. Si éstos difieren mucho de los determinados en las evaluaciones previas, el proyecto aún podrá ser rechazado. Si es aprobado, regresará al ejecutor, quien se encargará de su realización, y cualquier cambio que éste considere deber ser previamente aprobado por la comisión técnica, que hará un seguimiento

durante la implementación y operación para hacer los ajustes que estime convenientes, como verificar que la solución es la apropiada y retroalimentarse con la experiencia obtenida.

En los capítulos siguientes se profundiza en cada una de las etapas del proceso de planificación, haciendo énfasis en la modelación en el nivel táctico.

### **3. Análisis del sistema de transporte**

#### **3.1. Toma de información**

El proceso de planificación exige una continua toma de información de los sistemas de actividades y de transporte, que permitan conocer el desarrollo de algunas variables y verificar o corregir otras que previamente hayan sido estimadas. Se requiere entonces crear, mantener y actualizar un banco de datos que evite elevados costos puntuales en el momento de planear proyectos, garantizará conocer la eficiencia de aquellos que estén en funcionamiento, permitirá establecer la forma como se están consumiendo los recursos y aportará elementos para la revisión y puesta al día de planes en forma continua.

La información será tomada directamente por la Oficina de Tránsito o por grupos de consultoría, pero siempre bajo la tutela del grupo técnico de planificación en transporte, y además, esta información estará apoyada en la obtenida por entidades como el DANE, el Ministerio del Transporte y el Departamento de Planeación Municipal. Estos datos se resumen en los siguientes:

**3.1.1. Información socioeconómica.** Esta deberá ser tomada a nivel de sectores

homogéneos en el uso del suelo y en el nivel de ingresos. En lo posible se debe poseer información a nivel desagregado o de hogares, y debe incluir:

- Información demográfica: Habitantes por hogar, por sector, tasas de crecimiento, tendencias, etc.
- Tasas de motorización a nivel de hogar y por sectores, así como políticas gubernamentales al respecto (impuestos, política automotriz).
- Area construida por sectores, tendencias de construcción, tendencias de usos del suelo.
- Planos precisos sobre uso del suelo, localización de actividades, de generadores y atractores de viajes.
- Estructura de los hogares: Ubicación, hábitos y costumbres.
- Tasas de generación de viajes por hogar o por sector.

### 3.1.2. *Información sobre el sistema de transporte*

- Inventario vial: Descripción de todas las vías e intersecciones, enfatizando en sentidos de operación, características, usos y estado.
- Conteos de flujos de tránsito en puntos estratégicos que permitan expandir la información a toda el área. Esta actividad debe ser continua y ojalá mediante contadores automáticos, que relativamente son menos costosos en el largo plazo. La información debe ser calibrada mediante conteos manuales programados.
- Estudios de demoras, incluyendo causas, tipo, localización, magnitud.
- Tiempo de viaje, tanto en transporte público como particular.
- Información de líneas de transporte público: Itinerarios, frecuencias, equipos, velocidades, longitud de recorri-

do, tarifas, rentabilidad.

- Tasas de ocupación en corredores específicos y a nivel general, de transporte público y privado.
- Composición vehicular en corredores estratégicos.
- Funcionamiento de semáforos. Localización.
- Señalización.
- Niveles de ruido y contaminación ambiental.

3.1.3. *Información sobre viajes.* La mejor información aquí es la proveniente de encuestas origen-destino en líneas pantalla, en cordones y la tomada a nivel de hogares (encuesta domiciliaria).

La realización de una encuesta origen-destino implica la utilización de una alta cantidad de recursos humanos y económicos, por lo que se deben hacer cada 10 ó 12 años, o cuando circunstancias especiales lo requieran. Las encuestas proveen información desagregada tanto de tipo socioeconómico como sobre los viajes de los usuarios del sistema que pueden ser sintetizados en matrices de viajes por modo y por período.

Modelos como SATURN y ESMATUC poseen herramientas especiales que permiten mantener esta matriz actualizada, en cualquier momento con bajos costos mediante conteos que se tengan de la red.

Las matriz origen-destino constituye no sólo entrada para los modelos de cuatro etapas en la planeación del nivel estratégico, sino un marco apropiado para formular el diagnóstico de la situación inicial del sistema y los impactos atribuibles a cada alternativa.

Las encuestas origen-destino deberán



tener una base estadística apropiada para garantizar representatividad de los muestreos. Serán realizadas los miércoles, jueves o viernes de semanas típicas, con el fin de averiguar los viajes hechos el día inmediatamente anterior, describiendo los propósitos, el período de realización, la forma y el modo en que fue hecho, así como las características de la estructura del hogar.

### 3.1.4. *Definición y delimitación de problemas*

- *Análisis de la situación actual.* Con la continua toma de información y mediante un proceso adecuado de interpretación es posible evaluar y analizar la situación actual; además, la reacción de los usuarios, de los operadores y de la comunidad en general permite que el grupo técnico ponga especial énfasis en estos puntos de conflicto. Estos datos darán lugar a una serie de indicadores que mostrarán los lugares con problemas en el sistema y la eficiencia de proyectos en ejecución.

El grupo técnico, usando las herramientas de modelación a su alcance y con la información disponible, deberá ser capaz de definir en forma clara los problemas reales o potenciales y proceder a generar ideas de solución.

El análisis de la situación problema deberá enfocarse tanto en los aspectos organizativos (entidades públicas y privadas relacionadas) como en los físicos y de operatividad.

Los indicadores más usuales para hacer el diagnóstico son las demoras, los tiempos de viaje, los accidentes, la magnitud de los flujos, la operatividad y accesibilidad al transporte público, el nivel de servicio, el nivel de ruido y la contaminación.

La mejor representación de la situación actual podrá hacerse mediante modelos especialmente calibrados, de los cuales se hace una somera descripción.

- *Uso de modelos y calibración.* Un modelo es la representación a escala de un fenómeno de interés, cuyo propósito es discutir el comportamiento de las variables y las relaciones que éste involucra. Muchas veces es necesario hacer simplificaciones por la dificultad de tener en cuenta todas las componentes. Para cada situación particular el peso de cada variable y el tipo de relación con las demás deberá ser calibrado; esto es posible mediante algunos indicadores como los anteriormente nombrados.

Los modelos permiten una mejor interacción diseño-simulación-evaluación, de forma que se evite dejar todo a la intuición. Para el sistema de transporte se han diseñado y estructurado los siguientes tipos de modelos:

- *Modelos de servicio o de oferta:* Permiten establecer para un conjunto dado de opciones, el nivel de servicio experimentado por los usuarios. Son función de los flujos y del sistema de transporte.
- *Modelos de demanda:* Son función del nivel de servicio y del sistema de actividades. Permiten determinar volúmenes y composición de viajes para diferentes niveles de servicio.
- *Modelos de equilibrio:* Permiten determinar flujos de equilibrio resultantes de la interacción entre la oferta y la demanda.

- *Modelos de consumo de recursos:* Ayudan a estimar los recursos consumidos en la puesta en marcha de un proyecto o en la situación actual. Son ejemplos de éstos, el costo de construcción de un proyecto, el consumo de combustible, la emisión de contaminantes.
- *Modelos para estimar cambios en el sistema de actividades:* Tales como la localización, el uso del suelo. Pero los resultados de este tipo de modelos no han sido los adecuados.
- *Algunos modelos comerciales* <sup>5</sup>. Entre éstos, los que han sido evaluados en el nivel táctico para medios como el colombiano son los siguientes:
  - TRANSYT: Programa para análisis macroscópico de redes semaforizadas. Fijando parámetros permite determinar consumo de recursos, demoras, colas; por otra parte, permite optimizar las fases, repartos y ciclos para la programación de semáforos. Considera la demanda constante y es una poderosa herramienta de análisis y diseño.
  - TRAFFICQ Y NETSIM: Modelos de simulación microscópica para el análisis de redes semaforizadas.
  - SIDRA: Modelo muy completo para análisis y optimización de intersecciones semaforizadas aisladas. En cualquier momento puede utilizarse conjuntamente con TRANSYT.
- SIGCAP, SIGSET, PICADY, ARCADY, OSCADY: Programas para análisis y diseño de intersecciones aisladas de prioridad, glorietas y semaforizadas.
- SATURN: Modelo útil en el análisis de redes de transporte para proyectos con reasignación de flujos. Permite hacer el análisis en dos niveles de detalle: en uno, de gran detalle, se analiza el proyecto que se piensa implementar, y en el otro nivel, poco detallado, se hace la representación del resto del sistema. Estos niveles van unidos, garantizando así el completo análisis del sistema. SATURN también permite estimar y actualizar matrices origen-destino a partir de conteos; también es posible analizar con él intersecciones individuales.
- HCM (Manual de capacidad de carreteras americano). Puede ser de gran ayuda para evaluar niveles de servicio de vías, intersecciones, cruces peatonales y paraderos.

En los proyectos estructurales o del nivel estratégico deberán ser usados modelos que involucren estructura de cuatro etapas, incluyendo condiciones de equilibrio.

Generación, distribución, partición modal y asignación son las etapas del modelo clásico de transporte o de cuatro etapas, del cual se han desarrollado diferentes versiones comerciales.

Calibrar un modelo consiste en fijar los parámetros necesarios para reproducir una situación actual y particular. La calibración permite estudiar la confiabilidad de la representación de la situación estudiada. Si esto no es posible, mu-

---

<sup>5</sup> La existencia de modelos comerciales no elude la responsabilidad de desarrollar modelos que se ajusten a las condiciones locales.

cho menos podrá estimarse cómo será la representación de la situación futura, y el modelo deberá ser desechado.

Por otra parte, el proceso de calibración refuerza el conocimiento y comprensión del problema, permitiendo establecer relaciones causa-efecto y disponer de un rango más amplio de soluciones a los problemas reales o potenciales.

La calibración deberá ser hecha para varios períodos del día, de modo que representen la amplia gama de variabilidad de los flujos. Es posible que con tres períodos calibrados (un pico de entrada, uno de salida y un período valle) pueda representarse toda la situación. Las variables de calibración más importantes son las demoras, las colas, la estructura de los flujos y el tiempo medio de viaje.

Como se ha visto, el análisis de la situación actual da lugar a un diagnóstico y la definición y delimitación de problemas a la luz de los objetivos de la planificación. Detectados los problemas, el paso siguiente es establecer si deberán ser analizados en el nivel estratégico o si su solución debe ser dada en el nivel táctico o local, y si son complementarios o contradictorios con los objetivos primarios. Ello implica que se requiere de una jerarquización, estableciendo además prioridades para el correcto tratamiento de los problemas. En algunos casos existirán presiones de grupos ciudadanos, gremios y entidades, para que los esfuerzos se dirijan en un sentido determinado; en cualquier caso, en el grupo técnico deberán primar siempre los criterios y propósitos establecidos en los objetivos de la planificación.

#### 4. Generación de alternativas

Como se dijo, en esta etapa solamente se esquematizan ideas de proyectos llamados «perfiles». Estos perfiles parten de la detección y jerarquización de las necesidades y pueden ser hechos por el grupo técnico de planeación de transporte o por la Oficina de Tránsito. De un buen conocimiento causa-efecto es posible obtener las mejores alternativas, las cuales deberán ser ajustadas a los objetivos y restricciones que se hayan planteado previamente. El grupo técnico deberá tener la suficiente claridad para delimitar el ámbito del problema y saber si su solución está siendo tratada a nivel de planes más generales o solamente corresponde a un problema local en un área restringida. Si esta claridad no existe, es posible que se esté en presencia de proyectos ambiguos, contradictorios o complementarios pero que tienen especificaciones diferentes.

En esta etapa es fundamental que el grupo técnico conozca profundamente sobre las opciones de intervención en el sistema, para que éstas sean adecuadas a las características de la región y a sus posibilidades económicas y técnicas. Las opciones pueden ser:

- *Tecnológicas*: Implican el desarrollo e implementación de nuevas combinaciones de componentes del transporte para satisfacer la demanda; incluyen decisiones acerca del tipo de vehículo, estrategias de rutas y red, del medio por el cual se desplazan los vehículos, la vía y el modo general de operación.
- *Red*: Implica cambios en la configuración y en la localización aproximada de los arcos.

- *Vías*: Abarca modificaciones detalladas de las vías y sus elementos: intersecciones, paraderos, zonas de estacionamiento, calzada (pavimento).
- *Políticas de operación*: Toda la gama de decisiones acerca de la operación, incluyendo rutas de vehículos, tipo de servicio, tarifas, frecuencias, subsidios, impuestos, decisiones de regulación.
- *Políticas de organización*: Incluye toda la variedad de decisiones de manejo organizacional e institucional de los organismos o entidades encargadas del manejo del transporte.

Las opciones enunciadas definen el campo de acción de los planes de transporte. Sin embargo, éstas deberán estar enmarcadas en el contexto del sistema de actividades del cual muchas de las variables son exógenas al transporte, pero que mediante adecuados escenarios de planificación se podrá tener una idea cercana de cómo actuar.

Finalmente, al generar los proyectos al nivel de ideas con el apoyo del conocimiento de las opciones, y las restricciones, debe procurarse que estos perfiles que pasarán a las etapas siguientes serán lo suficientemente flexibles como para ser modificados en parte, si nuevas condiciones lo exigen.

## 5. Prediseño y evaluación social y económica

Los proyectos a nivel de ideas aceptados pasan a esta etapa en la cual, a pesar de que los perfiles se han definido en un proceso cuidadoso y estructurado, no todos ellos se justifican; por lo tanto, se requiere un estudio más detallado en lo

técnico, operacional y económico.

Para que la evaluación sea adecuada, el método debe ser consistente y similar en su aplicación a cada alternativa. Esta evaluación tiene por objeto entregar a la comisión de transporte la información relevante que permita apoyar el proceso de decisión, para lo cual se requiere profundizar en los aspectos económicos y en los impactos esperados.

Aquí vuelven a cobrar importancia los modelos como herramientas para ser aplicadas a la situación actual y para estimación y evaluación de los impactos.

Debe quedar claro que, hacia el futuro, la evaluación de tipo económico y funcional debe ser realizada con respecto a la situación base optimizada, la cual se define como la situación presente pero incluyendo todos los costos para el perfeccionamiento que optimiza la infraestructura básica. De esta forma se garantiza que los beneficios determinados provendrán verdaderamente del proyecto que se estudia, y no de beneficios escondidos en la operación o manejo ineficiente de la infraestructura existente.

Los impactos esperados en las diferentes alternativas serán de los siguientes tipos:

- *Impactos a usuarios*: Los usuarios deberán diferenciarse por su localización, propósito, grupo socioeconómico. Interesa saber cómo serán afectados en los costos e indicadores del nivel de servicio (tiempos de viaje, demoras, accidentes, comodidad).
- *Impactos a operadores*: Diferenciados por modo y ruta. Interesa lo concerniente

a la rentabilidad, la tarifa y los costos de operación.

- *Impactos físicos:* Son los causados por la presencia de facilidades o servicios de transporte que afecta a otros grupos. Los impactos más significativos de este grupo son la congestión, contaminación, ruido, vibraciones, intrusión visual, etc.
- *Impactos funcionales:* Se refiere a cambios en el sistema de actividades y en los patrones de viaje en respuesta a cambios en el sistema de transporte. Por ejemplo, cambios en el valor y uso del suelo por la ampliación o construcción de una vía.
- *Impactos gubernamentales:* Son las incidencias del proyecto en las entidades gubernamentales diferenciados por nivel y tipo de entidad. Interesa conocer cómo se verán afectados en su organización, presupuesto y nivel de responsabilidad.

De otra parte, en la evaluación, los valores del tiempo deberán ser considerados de igual manera en todas las clases de pasajeros independientemente de los ingresos personales. Esto para evitar favorecer inversiones en sectores de altos ingresos o modos de transporte especialmente usados por éstos <sup>6</sup>.

Los impactos ambientales de los proyectos y el análisis de los resultados de accidentes deberán ser estimados pero no agregados en la evaluación económica,

---

<sup>6</sup> Algunos autores coinciden en tomar como valor del tiempo remuneración correspondiente al 40% del ingreso per cápita del país o la región.

sino que se mantendrán como un criterio separado.

La evaluación económica se hará comparando los diferentes prediseños entre sí y con respecto a la situación base utilizada, la cual se hará considerando el valor social de los recursos consumidos (tiempo, combustible, lubricantes, etc.). Entre los costos directos deben tenerse en cuenta los de inversión, incluyendo los sistemas operativos para el funcionamiento, el valor de las expropiaciones y el mantenimiento de la operación.

Entre los beneficios se destacan los provenientes de impactos sobre el tránsito, como el ahorro del tiempo de viaje de los usuarios, el valor de la tierra, la disminución en los costos de operación, la disminución en la emisión de contaminantes, etc.

Hay indicadores en la evaluación que son de difícil cuantificación pero que deben ser incluidos, como, por ejemplo, los impactos sobre el ambiente (intrusión visual, polución, ruido, etc.), la disminución o aumento de áreas verdes, los efectos sobre peatones, etc.

El criterio de selección debe cumplir con dos condiciones: que la alternativa escogida tenga alta probabilidad de ser socialmente rentable y que produzca impactos preferibles a los de las demás alternativas.

El análisis económico debe, además, considerar las posibles fuentes de financiación del proyecto, dentro de las cuales caben alternativas como el cobro de la valorización generada o préstamos bancarios.

## 6. Proyecto final, implementación y seguimiento

Cuando han sido analizados y evaluados todos los prediseños que se consideran factibles de implementar, pasan a la comisión decisora, la cual, con un criterio específico de selección, escoge la alternativa que considera más adecuada. El grupo técnico debe esforzarse por entregar la información más precisa sobre los objetivos, operatividad y costos de cada proyecto, para lo cual es aconsejable preparar los siguientes resultados:

- Definición del problema, análisis de la situación y descripción de los objetivos buscados.
- Descripción de cada alternativa a nivel de prediseño, donde se incluye:
  - Bosquejo o esquema de la situación planteada.
  - Ventajas y desventajas globales de su implantación.
  - Indicadores de costos y beneficios.
  - Impactos esperados en los diferentes grupos.
- Posibilidades de financiación.
- Proposición de la alternativa que se considera técnica y económicamente más adecuada.
- Planes de implementación y seguimiento.

Una vez la comisión decisora ha definido la alternativa que se va a implementar, ésta pasa a un estudio detallado de ingeniería, etapa en la cual los modelos vistos y la información relevante y detallada son de gran ayuda. Definidos los parámetros, se elaboran cálculos, planos y memorias que incluyen además las políticas de operación. La ingeniería de detalle, así como las obras de infraestructura, deben someterse a licitación, con

una adecuada interventoría del grupo técnico, en coordinación con las restantes entidades involucradas, como la Oficina de Tránsito y la Secretaría de Obras Públicas. Dicho grupo también debe llevar a cabo un seguimiento de la operación de la obra, para lo cual se toman los datos de campo vistos anteriormente, que son analizados y permitirán detectar qué ajustes son necesarios para la optimización.

## Referencias

AKCELIK, R. E. *SIDRA Version 2.2. Input and output. ARRB technical manual ATM-19.* Australia: 1986.

ALLSOP, R.E. *Computer programa SIGCAP for assessing the traffic capacity of signal-controlled road junctions: description and manual for users, Working paper No 11.* Newcastle: Transport operation research group, University of Newcastle upon Tyne, 1975.

ARBOLEDA, Germán. *Formulación y evaluación de proyectos de transporte.* Cali: Toro, 1988, 313 p.

CIFUENTES, Ignacio. *Legislación del transporte y tránsito.* Bogotá, 1989.

DEPARTMENT OF TRANSPORT. *Capacities, queues and delays at road junction: Arcady2, Picady2 and Oscady2.* Londres, Note DTP-TA44, 1985.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Traffic network analysis with NETSIM. A user's guide. Implementation package.* Washington: 1980.

———. *Highway capacity manual.* Washington: 1985.

FERNANDEZ, J. E. Y DE CEA, J. *Urban transport in Chile.* Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile, 1988.

LOGIE, D.M.W. Y DAWSON, J.A.L. *TRAFFICQ: A design aid for traffic management.* Londres: MVA systematica, 1981.

MANHEIM, M. L. *Fundamentals of transportation system analysis, Vol. 1: Basic concepts.* Cambridge: The MIT press, 1979.

VAN VLIET, D. «SATURN: A moder assignment model». En: *Traffic engineering and control*, Vol. 23, No 12 (1982), p.578-581.