
MODELACIÓN DE REDES INTEGRADAS DE TRANSPORTE PÚBLICO (BRT)

Tomás de la Barra, PhD
Modelística – Prof. Universidad Central de Venezuela
PO Box 47709, Caracas 1041-A, Venezuela
fax: (58 212) 761 7354
E-mail: tomas@modelistica.com

RESUMEN

Recientemente se han desarrollado importantes y exitosos sistemas de transporte público en América Latina conocidos como Redes Integradas o BRT. Ciudades en todo el mundo se encuentran planificando sistemas similares.

La planificación y diseño de estos sistemas dependen de manera importante de los estudios de demanda y la modelación. Aquí se argumenta que los modelos convencionales de transporte no se prestan para el análisis requerido, ya que están orientados al transporte privado. Se requieren modelos con capacidades inéditas, tales como funciones de utilidad por estratos, tarifas integradas, transferencias, restricción de capacidad multimodal en la vía, restricción de capacidad en los vehículos TP, costos de operación y emisiones, pasajeros en paradas, y una extensa contabilidad financiera.

El sistema de modelos que se presenta aquí, desarrollado por el autor y colegas, posee las características señaladas. Se trata de un modelo de asignación multimodal probabilístico logit sobre pasos múltiples. Se describen las principales características del modelo, el cual ha sido aplicado en varias ciudades para la planificación de sistemas BRT. Se destacan los casos de Bogotá, Ciudad de México y Sao Paulo.

Palabras clave: Redes Integradas de Transporte Público, BRT, Economía de Transporte

ABSTRACT

Recently some important public transport systems known as Integrated Networks or BRT have been successfully implemented. Cities all around the world are planning similar systems.

Planning and design of such systems depend heavily on demand studies and modeling. Here it is argued that conventional transport models are not suitable for the required analysis, since they are oriented towards private transport. Models with new capacities are required, such as comprehensive utility functions by social category, multimodal capacity constraint on roads, capacity constraint on transit vehicles, operating costs and emissions, passengers on stops and terminals, and extensive financial accounting.

The modeling system described here, developed by the author and colleagues, has been furnished with such capabilities. It is a multimodal logit probabilistic assignment model on multiple paths. The main characteristics of the model are described. The model has been applied to several cities for the planning and design of BRT systems. The cases of Bogota, Mexico City and Sao Paulo are presented.

Keywords: Integrated Public Transport Networks, BRT, Transport economics

1. INTRODUCCIÓN

La última década ha visto el desarrollo de importantes e interesantes sistemas de transporte público en algunas ciudades de América Latina. Los sistemas más conocidos son los implantados en ciudades de Brasil (Curitiba, Sao Paulo, Recife, etc.), Bogotá, León de Guanajuato, y más reciente en Ciudad de México y Santiago de Chile. Aunque con diferencias, existen características comunes a todos estos sistemas, entre las que merece destacar: tarifas integradas, carriles exclusivos, control centralizado de la operación, boletaje electrónico, carriles exclusivos y concesiones por componentes, eliminando el concepto tradicional de concesiones de rutas. Estos sistemas, que se pueden denominar como Redes Integradas de Transporte Público o como BRT (*Bus Rapid Transit*), han tenido gran éxito en transportar grandes volúmenes de pasajeros de manera eficiente, con excelentes cuadros financieros, bajos montos de inversión, ejecución rápida e impacto ambiental muy favorable. Además de las ciudades que ya tienen estos sistemas implantados, un amplio listado de ciudades en todo el mundo se encuentra en etapa de planificación y diseño, adoptando el modelo iniciado en América Latina.

Desde el punto de vista metodológico, la planificación y diseño de este tipo de sistemas dependen de manera importante de los estudios de demanda y la modelación. En este artículo se argumenta que los modelos convencionales de transporte, que se vienen utilizando hace varias décadas, no se prestan para el análisis que se requiere. La mayoría de los modelos de uso común está más bien orientado al transporte privado, dominante en las ciudades en que fueron desarrollados, y tratan al transporte público como un componente más bien marginal, sin captar muchas de sus características más importantes.

Para poder realizar los análisis que las nuevas redes integradas de transporte público requieren, se necesitan modelos con capacidades inéditas, las cuales se listan y describen en el artículo. Los puntos más importantes son la capacidad de trabajar con modelos de comportamiento sobre la base de funciones de utilidad segregadas por estratos socioeconómicos, una representación fácil y transparente de tarifas integradas múltiples, múltiples transferencias entre modos motorizados y no-motorizados, restricción de capacidad multimodal en la vía, restricción de capacidad en los vehículos, solidez en el cálculo de costos de operación y emisiones, simulación detallada de movimientos de pasajeros en estaciones y paradas, contabilidad de transferencias entre operadores, y una extensa contabilidad financiera que permita realizar las proyecciones de flujos de caja que son esenciales para este tipo de sistemas.

El sistema de modelos que se presenta en este artículo, desarrollado por el autor y sus colegas, posee las características señaladas. Se trata de un modelo combinado de reparto modal y asignación multimodal de tipo probabilístico logit con pasos múltiples. En el artículo se describen las principales características del modelo desarrollado, de las funciones de utilidad, del algoritmo de búsqueda de caminos múltiples multimodales, y de los numerosos indicadores de evaluación.

El modelo descrito forma parte del sistema de modelos integrados de usos del suelo y transporte TRANUS, el cual ha sido aplicado en numerosas ciudades y regiones en diversos países de América Latina, USA y Europa. En el artículo se presentan las características principales de las aplicaciones realizadas en Bogotá con ocasión de la planificación del metro (que no se construyó) y Transmilenio (que sí se implantó), la aplicación realizada para la planificación y diseño de los corredores exclusivos en Ciudad de México denominados Av. Insurgentes y Eje 8, y la aplicación

para Sao Paulo en curso, y se mencionan algunas otras aplicaciones. Algunos de estos sistemas fueron implantados después de realizadas las aplicaciones del modelo, de tal manera que es posible hoy evaluar comparativamente los resultados. En la presentación se hace énfasis en el tipo de resultados e indicadores que es posible obtener.

El modelo TRANUS está libremente disponible (www.tranus.com) y está siendo utilizado por un número creciente de analistas en todo el mundo.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

2.1. Estructura general

En la Figura 1 se muestra la secuencia de cálculo del modelo de transporte. Las principales etapas del proceso son las siguientes:

Búsqueda de pasos múltiples multimodales. Con base en una descripción de una única red multimodal, incluyendo los recorridos o itinerarios de los servicios de transporte público, se realiza un proceso de búsqueda de caminos múltiples para conectar cada origen con cada destino. El resultado es un conjunto de opciones de viajar, combinando los diversos modos disponibles, en función de los costos, tiempos, valores del tiempo, preferencias, y otros componentes del costo generalizado. Más adelante se describe el proceso en más detalle.

Generación elástica de viajes por categoría. Con base en un conjunto de matrices de flujos por categoría de viajero calculado por el modelo de usos del suelo, se estima el número de viajes que se realizarán en el período de simulación (hora punta, total diario, etc.), en función del costo generalizado. La elasticidad implica que cualquier mejora en el sistema de transporte puede generar cierta cantidad de viajes inducidos. Es muy importante para el cálculo del excedente al consumidor en la evaluación económica.

Asignación probabilística multimodal. Los viajes entre cada par de origen-destino son distribuidos probabilísticamente entre las opciones de viaje, de acuerdo a un modelo logit en función del costo generalizado. Como las opciones son multimodales, este procedimiento equivale a una distribución modal y asignación simultáneos. También se describe más adelante.

Ajuste de la velocidad de los vehículos. En función del número de vehículos equivalentes asignados en cada tramo de la red viaria, y de la capacidad de cada tramo, se ajustan las velocidades de circulación de todos los vehículos de acuerdo con funciones de flujo-demora por tipo de vía y vehículo. Esto significa que la velocidad de todos los vehículos, incluidos los de transporte público, afectan y son afectados por la congestión.

Ajuste de los tiempos de espera. En función del número de pasajeros que abordan cada servicio de transporte público y de la capacidad del mismo, se ajustan los tiempos de espera. La espera aumenta a medida que el volumen se acerca a la capacidad. Este mecanismo permite equilibrar la demanda con la oferta.

Ajuste de frecuencias. En función de la demanda asignada, las tarifas y los costos de operación, los operadores pueden incrementar la frecuencia del servicio dentro de un rango y sujeto a un parámetro de máxima flota. Este procedimiento equivale a un modelo de oferta.

Al variar los tiempos de viaje y de espera, la secuencia de cálculo retorna a la generación elástica de viajes, ya que los usuarios pueden reducir los viajes realizados si el sistema está muy congestionado. También se repite el cálculo de probabilidades en la asignación multimodal, ya que algunas opciones pueden saturarse más que otras. Esta estructura iterativa del modelo continúa hasta que llegue a un equilibrio numérico.

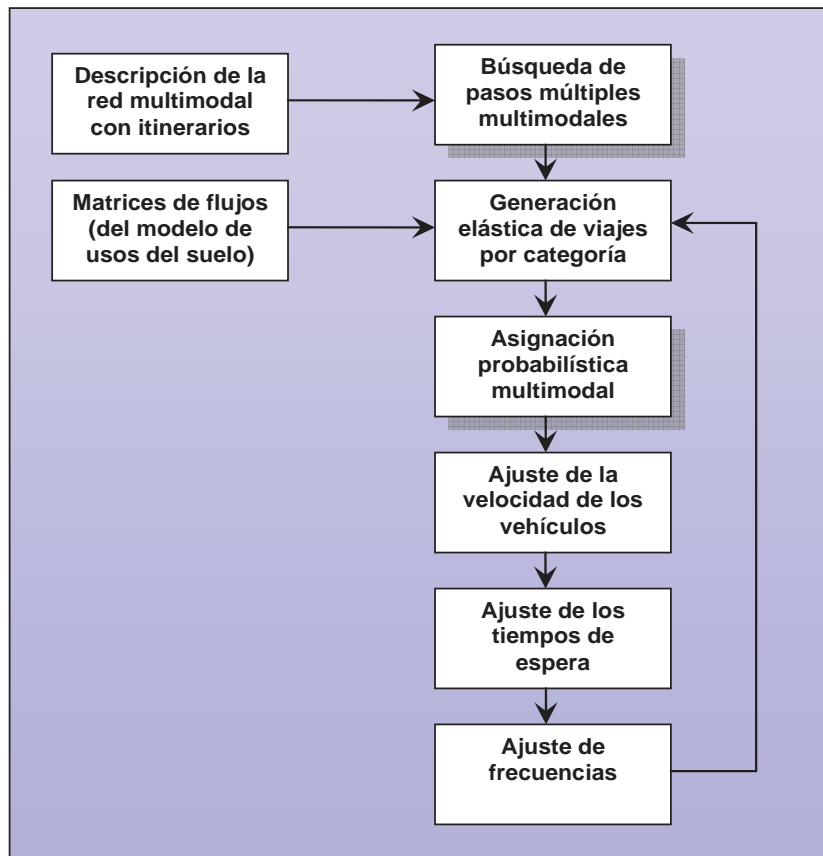


Figura 1: Estructura del modelo de transporte

2.2. Búsqueda de pasos múltiples multimodales

Como se mencionó, este procedimiento consiste en encontrar un conjunto de opciones de viaje o *pasos* para cada par origen-destino. Los pasos no son simplemente rutas físicas entre pares origen-destino, sino secuencias enlace-ruta que conforman itinerarios de viaje o recorridos, de tal manera que puede haber dos pasos distintos que sigan una secuencia de enlaces idéntica pero rutas diferentes. A lo largo de un paso puede haber transbordos entre operadores y rutas, lo cual agrega al costo el tiempo de espera y tarifas adicionales. El método produce como resultado las múltiples opciones de viajar entre cada par O-D ordenadas por el costo generalizado al usuario, el

cual incluye: tarifas, valorización de los tiempos de viaje y de espera y penalizaciones subjetivas para representar preferencias. El algoritmo permite la inclusión de prohibiciones de giro y/o demoras en las intersecciones, y de tarifas especiales entre sistemas integrados de transporte, tales como las de un metro o rutas troncales con sus autobuses alimentadores. También es posible incluir tarifas diferenciales por categoría de demanda, como sería el caso de estudiantes o tercera edad.

Otra característica del algoritmo de búsqueda de pasos se denomina *control de solapes (overlapping control)*; que resuelve el conocido problema de *correlación de atributos* de los modelos logit. El método lleva cuenta de las coincidencias en la secuencia de cada paso para descartar los que no representan una verdadera opción claramente diferenciada, si no una pequeña variante. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de una red con múltiples modos que se combinan entre sí para generar opciones de viaje o '*pasos multimodales*'. El software presenta los pasos resultantes en pantalla, con todos sus atributos como costo monetario, tiempo de viaje y de espera, trasbordos, costo generalizado y probabilidad de elección para cada categoría de usuario.

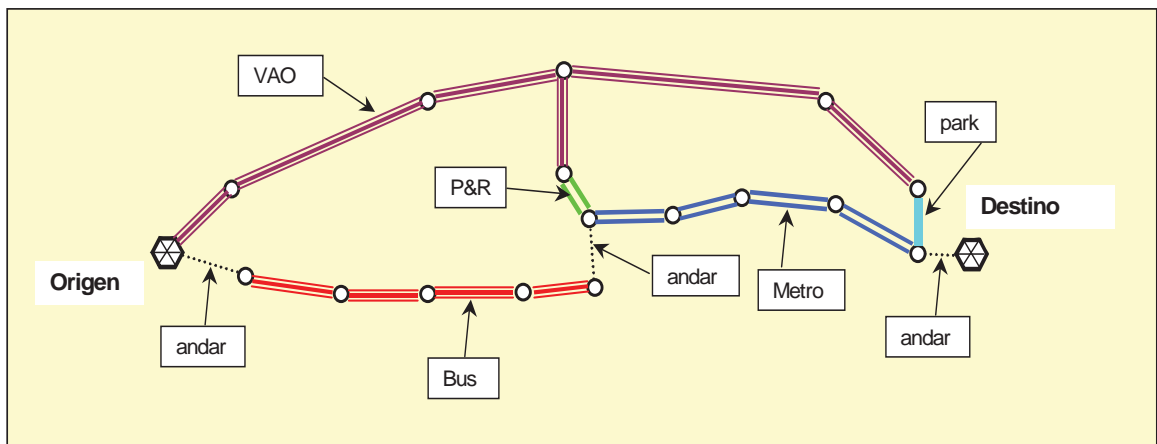


Figura 2: Ejemplo de un conjunto de pasos multimodales

2.3. Asignación pobabilística multimodal

Es un procedimiento íntimamente relacionado con el anterior, en el cual la demanda de viajes por categoría para cada par OD se asigna a las opciones de viajes o pasos. Para ello el modelo calcula la probabilidad de elección de cada paso con base en un modelo DC tipo logit, en el cual la función de utilidad es el costo generalizado por categoría de usuario. Un aspecto de especial importancia es que el modelo calcula la utilidad conjunta por categoría de usuario, con base en la formulación del modelo DC, también conocida como *costo compuesto* o *log-sum*. Esta medida de beneficios a los viajeros es fundamental para la evaluación económica de los proyectos que se estén analizando.

Como puede verse, se trata de una distribución simultánea a modos, rutas y enlaces físicos, en un sólo procedimiento. Siguiendo el ejemplo de la figura anterior, una opción puede ser viajar en automóvil de alta ocupación (VAO) desde el origen hasta un estacionamiento cerca del destino. Otra opción puede ser viajar en VAO hasta un park-and-ride y luego continuar en metro.

También se puede andar hasta un autobús y luego hacer un transbordo a una estación de metro. Aunque no se indica en el ejemplo, otras opciones pueden ser realizar el viaje en automóvil con un solo ocupante, hacer el viaje a pie o en bicicleta, y si las facilidades estuvieran disponibles, ir en bicicleta hasta la estación del metro.

Si bien el conjunto de pasos es común, cada categoría de viajero puede percibir el costo generalizado de cada opción de manera diferente. Así, por ejemplo, los estratos altos elegirán opciones más rápidas aunque tengan mayor costo. Un conjunto de penalidades que multiplica los valores del tiempo de acuerdo al modo o ruta, cumple un rol fundamental para representar las preferencias. Es así como los estratos altos pueden mostrar una marcada preferencia por el automóvil, mientras que para los estratos bajos esta opción resulta poco atractiva. Las penalizaciones se calibran con base en información acerca de las elecciones modales que realiza la población (encuestas). Los tiempos de espera también son penalizados.

En el cálculo de los costos para el usuario (tarifas) un elemento muy importante es la posible presencia de tarifas integradas. Para ello el modelo recurre a una matriz de costos de trasbordos entre modos. Cada vez que en un camino aparece un transbordo, el modelo consulta la matriz para determinar el costo de la transferencia. Si no hay tarifas integradas, se supone que el viajero deberá pagar una nueva tarifa al realizar el cambio, pero si hay integración puede pagar una cantidad menor o cero. En la matriz de trasbordos se puede prohibir determinadas combinaciones. Por ejemplo, se puede prohibir la combinación auto-metro o auto-bus. Si se introduce un modo *park-and-ride*, se puede permitir la combinación auto-P&R-metro, agregando la tarifa del P&R. En el ejemplo anterior podría darse la combinación VAO-P&R-metro, e incluso podría darse una integración tarifaria entre el P&R y el metro. De esta manera el modelo puede representar una gran variedad de opciones.

Es importante destacar que el modelo calcula los costos monetarios a los usuarios, pero también lleva una contabilidad detallada de los costos de operación, lo cual es muy importante para la evaluación económica y financiera.

2.4. Restricción de capacidad

El procedimiento de restricción de capacidad merece mayor explicación. Como se mencionó, este procedimiento consta de dos aspectos principales: reducción de velocidad por congestión e incremento de los tiempos de espera por saturación.

La reducción en la velocidad sigue procedimientos estándar en modelos de transporte. Una vez asignada la demanda se calcula el número de vehículos involucrado y finalmente el número de vehículos estándar (*pcu*). Este valor se compara con la capacidad de la vía para determinar la relación volumen/capacidad (V/C), y en función de ésta, determinar la velocidad restringida aplicando curvas con parámetros específicos. A diferencia de la mayoría de los modelos convencionales de transporte, que suponen que la velocidad de los vehículos de transporte público es constante, en este modelo las funciones de reducción se aplican a todos los vehículos que comparten la vía. Es bien conocido que en las ciudades de AL la congestión es muchas veces causada por el alto volumen de vehículos de transporte público, afectando la velocidad comercial.

El incremento de los tiempos de espera es otro aspecto que la mayoría de los modelos convencionales no toma en cuenta, y sin embargo es un aspecto fundamental en los sistemas de transporte público con altos niveles de demanda. En la Figura 3 derecha se muestra un típico perfil de carga de una ruta, en el cual los tramos 3, 4 y 5 muestran un volumen de pasajeros superior a la capacidad. En cada caso se aplica la curva de ajuste (incremento) de los tiempos de espera, que comienza desde un valor de espera mínima y se incrementa a medida que V/C se acerca a 1. Más allá de 1, que sería el caso de los tramos sobrecargados, la espera se incrementa con mayor velocidad. Al tiempo de espera se debe agregar el tiempo que el vehículo debe estar detenido para permitir el sube-y-baja. Para ello el modelo aplica unos parámetros de tiempo por pasajero subiendo o bajando, y utiliza el mayor de los dos para adicionarlo tanto al tiempo de espera como al tiempo de recorrido y cálculo de flota. El modelo es sensible, por lo tanto, a elementos como puertas anchas y plataformas a nivel.

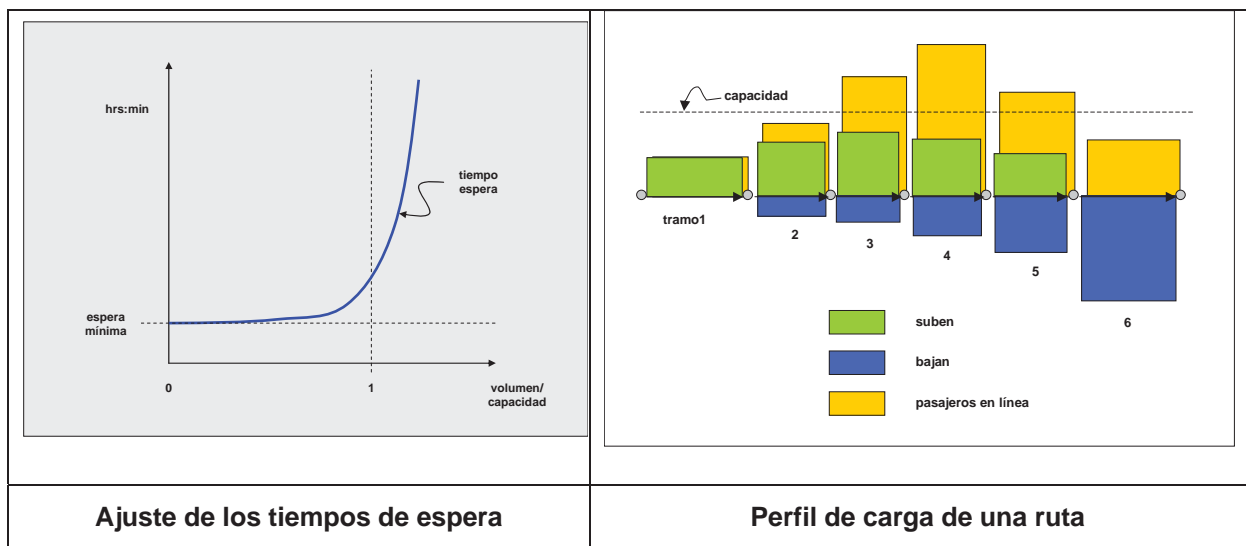


Figura 3: Ajuste de tiempos de espera y perfil de ruta

Como se mencionó, el modelo también incluye posibles incrementos en la frecuencia de los servicios cuando se presentan sobrecargas como en el ejemplo anterior. Este procedimiento está restringido a valores mínimos y máximos para la frecuencia y a una flota máxima, datos que provee el usuario del modelo.

2.5. Indicadores

Los indicadores que provee el modelo son muy importantes para la planificación, diseño y evaluación de las Redes Integradas de Transporte Público. Los más importantes son:

Indicadores de los usuarios: número de viajes, costo, tiempo, longitud, desutilidad media.

Indicadores de los operadores: número de abordajes, pasajeros-km, pasajeros-hrs, ingreso por tarifas, todo ello por categoría de usuario. Vehículos-km, vehículos-hrs, costos de operación total y por pasajero-km, consumo de combustible, flota, todo ello por operador.

Indicadores de integración: matrices oper-oper en términos de abordajes, pasajeros-km, pasajeros-hrs, tarifas pagadas.

Indicadores de rutas: perfil de carga, sube-y-baja, tiempos de espera por tramos, flota, vehículos-km, vehículos-hr, ingresos, costos de operación, velocidad media, tramos críticos

Indicadores de asignación: pasajeros en línea por tramo, pasajeros en paradas y estaciones entrando-saliendo, contabilidad de trasbordos en cualquier nodo de la red

Otros indicadores: matrices O-D que utilizan una ruta o conjunto de rutas, distribución de vehículos-km por categoría de velocidad por operador, cálculo de emisiones totales o en partes de la red, matrices O-D de trasbordos (muy útiles para identificar pares O-D con muchos trasbordos y planificar rutas directas), matrices O-D de beneficios a los usuarios por categoría. Efectos sobre la localización de actividades y usos del suelo. Beneficios inmobiliarios atribuibles al proyecto de transporte.

Muchos de estos indicadores los produce el software tanto en valores numéricos como en gráficos y mapas.

3. APLICACIONES

La exposición de las aplicaciones del modelo son muy extensas, con lo cual sobrepasan las limitaciones de este artículo aún de manera resumida. Una descripción más detallada de ellas con las correspondientes referencias puede encontrarse en www.modelistica.com. Por lo tanto, aquí sólo se incluyen descripciones muy breves de cada caso.

3.1. Bogotá

El modelo TRANUS se aplicó al Área Metropolitana de Bogotá entre 1999 y 2002, tanto para fines de planificación de transporte como para dar soporte al Plan de Ordenación Territorial (POT). En el caso del sistema de transporte se organizaron dos equipos para trabajar de manera simultánea: un equipo para troncales de autobuses (Transmilenio) y otro equipo para analizar la factibilidad/conveniencia de una o más líneas de metro. El modelo fue utilizado principalmente por este segundo equipo, aunque naturalmente debió incluir los dos proyectos. Como es conocido, la decisión final fue implantar Transmilenio, aunque en teoría no se ha descartado el metro.

La aplicación de TRANUS a Bogotá fue de tipo integral usos del suelo y transporte. Además de las obvias ventajas para las proyecciones a largo plazo, este esquema permitió trabajar sin una extensa encuesta de movilidad en hogares. El modelo fue calibrado sobre la base de información censal, usos del suelo catastrales, actividades económicas, red viaria y configuración de la red de transporte público existente a ese momento.

Una vez calibrado el modelo, se procedió a desarrollar un amplio espectro de escenarios, que fueron desde una tendencia hasta la incorporación de diversas configuraciones de Transmilenio y

el metro, explorando también diversas opciones de integración tarifaria. Como resultado se obtuvieron las estimaciones de demanda y todos los indicadores descritos anteriormente para cada escenario. Además se obtuvieron los efectos sobre la localización de actividades y los usos del suelo en cada caso, y la estimación de los beneficios a los usuarios de transporte en formato matricial. Los resultados apoyaron la decisión de postergar el metro y trabajar únicamente con Transmilenio.

Un aspecto interesante de este estudio es que se realizó un año antes de entrar en operación la primera etapa de Transmilenio. En el corto plazo las estimaciones de demanda resultaron muy similares a lo que de hecho ocurrió más tarde, y en el mediano plazo se evidenciaron algunos problemas que se pueden observar en la actualidad, especialmente la saturación de muchas estaciones a lo largo de Av. Caracas y la reducción en la velocidad de circulación en los carriles exclusivos al sobrepasar ciertos niveles de oferta. Al largo plazo, algunos problemas se incrementan y otros se mitigan con la incorporación de nuevas troncales. Resulta particularmente interesante analizar estos resultados a la luz de varios años de experiencia en la operación.

3.2. Ciudad de México

Esta aplicación del modelo TRANUS se realizó entre 2003 y 2004, originalmente para la planificación del corredor confinado denominado Eje 8 Sur. Posteriormente se incorporó al análisis el corredor Insurgentes.

El área de análisis cubrió prácticamente toda el Area Metropolitana, con la totalidad del DF y buena parte del Estado de México, representando una población de más de 19 millones de habitantes. Se trata de un área no sólo extensa, sino también compleja, con 11 líneas de metro, y una gran variedad de servicios de transporte público.

Para la aplicación del modelo se utilizó información disponible de población, empleo, usos del suelo, red viaria y los recorridos de miles de rutas. Se contó también con los resultados de una encuesta de movilidad en hogares y para el estudio se realizaron aforos de tráfico clasificados y verificación de itinerarios.

Los escenarios futuros consideraron varias opciones de configuración de las redes, especialmente mediante la incorporación de los dos corredores BRT descritos y la reorganización de los servicios convencionales. Luego se analizaron escenarios con o sin tarifas integradas y con o sin redes de alimentación integradas.

Los resultados fueron directamente utilizados para apoyar tanto el diseño de ingeniería de detalle, como el plan de operación y el plan financiero. Adicionalmente se realizaron estimaciones detalladas de emisiones contaminantes, un aspecto especialmente relevante para un área contaminada como Ciudad de México. El cálculo de emisiones sirvió también para evaluar una posible contribución financiera vía bonos-carbón. Merece destacar que los datos que provee el modelo para el plan financiero son de gran utilidad, ya que muchas de las decisiones que se tomaron están basados sobre estos resultados.

Posteriormente al estudio entró en operación el corredor Insurgentes, con lo cual se ha podido verificar el realismo de las estimaciones. Actualmente se está utilizando el modelo para estudiar otros corredores, como el denominado Eje 4.

3.3. Sao Paulo

Este estudio se realizó en una primera etapa entre 2005 y 2006 y en la actualidad se está iniciando una segunda etapa. Se trata de un Area Metropolitana de gran envergadura (19 millones de habs.) y un sistema de transporte público muy complejo con miles de rutas de superficie y varias líneas de metro y de ferrocarril. Al momento de realizar el estudio toda la red superficial estaba operando con tarifas integradas y boleto electrónico y se contaba con unos 250 Km de carriles exclusivos. Posteriormente el metro se incorporó a la tarjeta electrónica. El propósito del estudio fue la realización del Plan Integral de Transporte Urbano PITU 2025, que se actualiza cada cinco años. Además de la aplicación a Sao Paulo que se reseña aquí, se aplicó el modelo para apoyar el PITU 2025 de la ciudad de Campinas.

Para el estudio la Secretaría de Transporte seleccionó el modelo TRANUS por las capacidades en la representación de sistemas de transporte público complejos, y por la incorporación del modelo de localización de actividades y usos del suelo. Para calibrar el modelo se contó con información censal, estimaciones de empleo, usos del suelo, red viaria, aforos de tránsito y descripción de un elevado número de rutas de transporte público.

Luego de la calibración, el equipo se dedicó a explorar una amplia gama de proyectos y políticas de transporte que fueron simuladas y evaluadas con el modelo. Esto permitió establecer un conjunto de prioridades de inversión tanto sobre vialidad como sobre el transporte público. En la actualidad se encuentra en construcción una nueva línea de metro, de tal manera que interesaban los resultados de la demanda.

La segunda etapa que se está iniciando se genera a raíz de los resultados obtenidos en la primera. En la primera etapa se supuso que se mantendrán las actuales políticas y planes de desarrollo urbano. Del ejercicio realizado fue evidente que esta es una importante limitación. Los resultados apuntan a una extensa área metropolitana que tenderá a expandirse aún más hacia una periferia de baja densidad, lejana y difícil de servir con transporte público. Al introducir nuevas autopistas en el modelo, el área urbana se expande aún más, y las nuevas autopistas se llenan rápidamente con altos niveles de congestión en un especie de círculo vicioso sin fin aparente, con altos costos de inversión, y dejando atrás áreas céntricas en estado de abandono y deterioro, a pesar de estar muy bien servidas por el transporte público.

La segunda etapa se centrará, entonces, en las políticas de desarrollo urbano que puedan revitalizar áreas deprimidas y optimizar el uso de la red de transporte público. Se espera que de esta manera las inversiones en renovación urbana terminen siendo más rentables que más kilómetros de autopistas o extensiones al ferrocarril y metro.

3.4. Caracas

Aunque se han realizado diversas aplicaciones del modelo TRANUS para el Área Metropolitana de Caracas, aquí se reseña la más reciente, aún en desarrollo. Cubre la totalidad de la denominada Región Capital (5.2 millones habs.) e incluye Caracas y varios centros urbanos satelitales ubicados entre 20 y 40 Km de distancia. Dos de estas ciudades están conectadas al centro con sistemas masivos ferroviarios de reciente data, mientras la conexión con las demás está en etapa de planificación. El propósito de este estudio es explorar el futuro de las actuales conexiones y las posibilidades de las futuras. En el caso de las conexiones existentes, se espera potenciar el uso de la infraestructura mediante redes de alimentación locales con tarifas integradas. Otros proyectos analizados son una segunda autopista entre Caracas y el Puerto de la Guaira y Aeropuerto de Maiquetía, la extensión del metro Caracas-Los Teques y la puesta en marcha de un ferrocarril suburbano entre Caracas y Guarenas-Guatire.

Para el desarrollo del modelo se recurrió a información censal disponible, además de datos sobre la red viaria y las rutas de transporte público. Para el estudio se complementó la información disponible con aforos de tráfico y una extensa encuesta de movilidad en hogares (20 mil encuestas).

Además de los resultados esperados en términos de estimaciones de demanda en los sistemas de transporte actuales y futuros, un componente importante han sido los resultados de usos del suelo. Se ha evidenciado la fuerte relación que existe entre los sistemas de transporte y el desarrollo urbano de las áreas satelitales. Como éstas son áreas dispersas y densidades bajas, las redes de alimentación integradas cumplen un rol fundamental. De no desarrollarse las facilidades de transporte, la Región se verá seriamente limitada en su desarrollo futuro, ya que el actual sistema no será capaz de abrir nuevas áreas y potenciar el desarrollo inmobiliario.

4. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un modelo de transporte que forma parte de un sistema integrado de usos del suelo y transporte. La descripción se centró en la modelación de Redes Integradas de Transporte Público. Se reseñaron y especificaron las principales características que debe tener el sistema de modelación para que resulte verdaderamente útil para la planificación y diseño de las redes integradas.

Al comienzo del artículo se argumentó que la mayoría de los modelos convencionales de transporte no tienen las capacidades necesarias para la planificación de sistemas BRT. El modelo desarrollado, en cambio, fue diseñado específicamente para cumplir con estos requerimientos, los cuales fueron listados y descritos. Finalmente se describieron someramente algunas aplicaciones recientes para la planificación de sistemas avanzados de transporte público, cubriendo ejemplos de Bogotá, Ciudad de México, Sao Paulo y Caracas.

La principal conclusión que se extrae de esta experiencia es que una modelación bien fundamentada y completa es una herramienta de gran valor en las etapas de planificación y diseño de las redes BRT, así como de su estructuración financiera. De esta manera se pueden

evitar muchos errores que se pueden cometer al no prever el comportamiento de la demanda y de la oferta. Entre los principales problemas que pueden evitarse cabe señalar:

Problemas de capacidad en vías, estaciones y terminales

Problemas de operación e interacción con el tráfico

Problemas en el transporte privado y el público no integrado

Optimización de la flota al determinar los tipos de vehículos más adecuados

Problemas financieros, estimación de recursos, mecanismos de distribución

Problemas institucionales y de gestión