

Resultados de la Modelación Microscópica de Interacciones Vehículos-Pasajeros-Tráfico para el Diseño de Sistemas BRT

Rodrigo Fernández A.
Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes
Av. San Carlos de Apoquindo 2200, Las Condes, Santiago, Chile
Fax: (56 2) 214 1752; E-mail: rfa@uandes.cl

Cristián E. Cortes C. y Vanessa Burgos O.
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
Casilla 228-3, Santiago, Chile
Fono/Fax: (56 2) 989 4206; E-mail: ccortes@ing.uchile.cl, vburgos@ryq.cl

RESUMEN

Este artículo muestra la modelación microscópica de vehículos y pasajeros en vías, intersecciones y estaciones de transporte público. Su objetivo es contribuir a un mejor diseño de sistemas BRT (Bus Rapid Transit), como los de Santiago, Bogotá, Quito o Londres. Primero se indica cómo se ha mejorado la modelación del transporte público en microsimuladores de tráfico convencionales mediante una Application Programming Interface (API). Luego se describe algunos experimentos de simulación realizados la API denominada MISTRANSIT. Esta API funciona con el microsimulador de tráfico PARAMICS. Se muestran cuatro aplicaciones: (a) cómo impactan las maniobras de entrelace entre vehículos de transporte público sobre la capacidad de un paradero dividido; (b) cómo afecta la programación de un semáforo aguas abajo en la capacidad de un paradero simple de sitios múltiples; (c) qué tan conveniente es dar prioridad a buses mediante semáforos actuados por éstos; y (d) cuánto puede llegar a ser la penalidad por trasbordo en estaciones. Finalmente, se comentan los resultados y se indican nuevas líneas de trabajo.

Palabras clave: microsimulación, transporte público, buses.

ABSTRACT

This article shows the microscopic modelling of vehicles and passengers at roads, junctions, and public transport stations. The aim is to improve the design of BRT (Bus Rapid Transit) systems such as those found in Santiago, Bogotá, Quito or London. Firstly, the improvement in the modelling of buses in conventional traffic microsimulators by means of an Application Programming Interface (API) is shown. Then, some experiments performed with the API called MISTRANSIT are described. This API works with the PARAMICS traffic microsimulator. Four applications are shown: (a) how much is the impact of weaving manoeuvres on the capacity of a divided bus stop; (b) how much a downstream traffic signal can reduce the capacity of a multiple-berth bus stop; (c) the advantages and limitations of active priority for buses at traffic signals; and (d) how much the stop penalty at interchange stations could be. Finally, some comments are stated and further research is suggested.

Keywords: microsimulation, public transport, buses.

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo resume los resultados de experimentos realizados usando la API (Application Programming Interface) de PARAMICS denominada MISTRANSIT. Esta herramienta combina la modelación del transporte público usando modelos en que los pasajeros son considerados entidades de modelación – como es el caso del modelo PASSION (Fernández and Planzer, 2002) – con modelos tradicionales de seguimiento vehicular y cambio de pista para los vehículos. Un primer avance en el desarrollo del modelo MISTRANSIT fue reportado por Burgos et al (2005). Posteriores desarrollos han sido mostrados por Cortés et al (2006), Fernández et al (2006) y Cortés et al (2007). La última versión de MISTRANSIT opera según se presenta en la Figura 1.

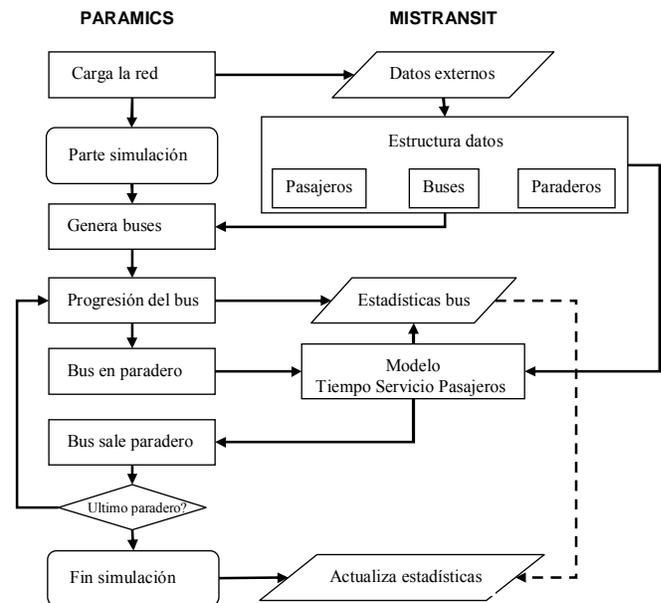


FIGURA 1: Esquema de Funcionamiento de MISTRANSIT con PARAMICS

Tres análisis se llevaron a cabo con MISTRANSIT. El primero consistió en el estudiar la capacidad de estaciones divididas de BRT. El segundo analizó el efecto de un semáforo aguas abajo sobre la capacidad de un paradero. El tercero se refiere a las ventajas y limitaciones que puede tener la prioridad activa de los buses en los semáforos *versus* un plan de tiempo fijo. El último, apunta al efecto que puede tener sobre los tiempos de acceso y espera los trasbordos entre servicios de buses y metro. Ninguno de estos estudios ha sido reportado en la literatura especializada a nivel de operación en la calle. Sólo existen

razonamientos basados en modelos teóricos o usando supuestos simplificados. Esta carencia es la principal motivación de este artículo.

2. EXPLICACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

A continuación se explican los experimentos de simulación realizados con MISTRANSIT. Más detalles se pueden ver Burgos (2006).

2.1 Concepto y Capacidad de Estaciones Divididas

Una estación de transporte público de superficie se define como un dispositivo vial compuesto de dos partes: un área de parada para los vehículos y un andén para los pasajeros. El área de parada es un espacio de la vía destinado a la detención de los vehículos de transporte público y puede estar constituido por uno o más lugares de detención, llamados sitios. El andén es un área destinada a la espera, embarque y desembarque de los pasajeros, pudiendo ser parte de una acera o algún otro elemento, como una isla; el andén debe ser paralelo al área de parada y tener igual longitud, tal como muestra el óvalo segmentado de la Figura 2.

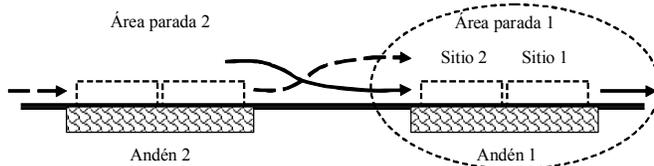


FIGURA 2: Componentes y Layout de una Estación de BRT

Áreas de parada y andenes pueden estar dispuestas de distintas forma, dependiendo de la demanda de pasajeros y el flujo de vehículos de transporte público que sirve. Si la demanda y el flujo son bajos, un área de parada compuesta por uno o más sitios linealmente dispuestos puede ser suficiente para atenderlos. Sin embargo, para altas demandas y flujos, el seguir agregando sitios al área de parada no resulta eficiente. Experiencias estadounidenses en estaciones de buses (TRB, 2000) indican que el primer sitio es completamente eficiente (se ocupa el 100% del tiempo). Si se agrega un segundo sitio, este aporta un 85% a la capacidad de atención de vehículos y un tercero suma un 60% de eficiencia. Sin embargo, un cuarto y quinto sitios agregan sólo un 20 y un 5% de capacidad de atención, respectivamente. Por esta razón, no es conveniente tener estaciones de más de tres sitios.

Lo anterior lleva al concepto de estaciones o “paraderos divididos” (Gibson y Fernández, 1995), como la mostrada en la Figura 2, en la cual una estación se divide en otras más pequeñas y eficientes para atender a una demanda de pasajeros y flujo de vehículos de consideración. Por lo tanto, el criterio de división no es otro que **aumentar la capacidad** de atención de vehículos y pasajeros. Luego, se definirá *estación dividida* como aquella compuesta de “n” sitios ($n = 2, 3$) y “m” áreas de parada ($m = 2, 3, 4$). Este concepto así como el de capacidad de estaciones divididas no se ha visto reportado en la literatura tradicional (TRB, 2000, 2003a, 2003b).

En este estudio se analizaron dos aspectos del diseño de estaciones divididas de BRT para aumentar su capacidad. El primer aspecto es la conveniente separación entre dos áreas de parada adyacentes. Para ello se estudió la evolución de la longitud de cola que se produce en el área de parada de aguas abajo en función de combinaciones de su flujo de vehículos y demanda de pasajeros. Un segundo fenómeno analizado fue el efecto de las maniobras de entrelace – cruce de las flechas punteada y llena en la Figura 2 – sobre la capacidad del área de parada de aguas arriba

para diversas combinaciones de flujos y demandas en ella, así como flujo que accede al área de parada aguas abajo. Los resultados de reportan en el Capítulo 3.

2.2 Efecto de los Semáforos sobre la Capacidad de Estaciones

Trabajos previos usando el modelo de simulación IRENE (Gibson, 1966) mostraron las ventajas de un modelo de microsimulación sobre fórmulas analíticas, como la del Highway Capacity Manual (HCM), para estudiar el efecto de semáforos aguas abajo sobre la capacidad de paraderos de buses. El HCM (TRB, 2000) incorpora el efecto de un semáforo inmediatamente aguas abajo de un paradero sobre su capacidad mediante la conocida fórmula:

$$B_s = \frac{3,600(g/C)N_{eb}}{t_c + (g/C)t_d + Z_a c_v t_d} \quad (1)$$

Donde B_s es la capacidad de un paradero de sitios múltiples; g/C es la razón de verde efectivo del semáforo de aguas abajo; N_{eb} es el número efectivo de sitios; t_c es el tiempo de despeje del paradero entre buses sucesivos; t_d es el tiempo promedio de transferencia de pasajeros; c_v es su coeficiente de variación; y Z_a es la abscisa de la curva normal para una probabilidad a que se forme una cola aguas arriba del paradero.

Se observa que el único elemento de la programación considerado en la Ecuación (1) es la razón de verde efectivo. No obstante, Gibson (1996) reporta una reducción de hasta un 40% en la capacidad del paradero en función de cuatro variables: el tiempo de ciclo del semáforo (C), su razón de verde efectivo (u), la distancia entre el paradero y el semáforo (D), y la posibilidad de que los buses se puedan adelantar o no en el paradero. Este autor señala que la peor programación del semáforo para la capacidad del paradero es aquella que combina un ciclo largo (120 segundos) con una baja razón de verde efectivo (0,38). Por el contrario, si se usa un ciclo de 60 segundos y una razón de verde efectivo de 0,68, la capacidad de un paradero con un semáforo inmediatamente aguas abajo se reducía en sólo un 11%.

En este trabajo se replicó con PARAMICS y MISTRANSIT el experimento realizado con IRENE por Gibson (1996). Se modeló un paradero de tres sitios situado en una calle con dos pistas en el mismo sentido, asumiendo que tanto buses como pasajeros llegaban en forma aleatoria. Se supuso que la demanda de subida promedio era de 10 pasajeros por bus y que la de bajada era nula, por simplicidad. Los resultados se muestran en el capítulo 3.

2.3 Prioridad al Transporte Público en Semáforos

Las medidas tradicionales para dar prioridad a los buses en las calles consisten en pistas sólo bus con el flujo o a contra flujo, excepción de prohibiciones para que los buses realicen determinadas maniobras en intersecciones, programación de semáforos que favorezcan a los buses mediante una mayor ponderación a sus demoras (e.g., vía tasa de ocupación), y semáforos actuados por buses (NATO, 1976).

En el caso de semáforos actuados, un detector capta la aproximación de un bus al semáforo y hace que el controlador tome dos alternativas: (a) si el semáforo está en verde, extender este período hasta que el bus cruce la intersección; o (b) si el semáforo está en rojo, adelantar lo más pronto posible el inicio de la fase de verde para el bus. Esta estrategia es aplicada una vez por ciclo del semáforo.

En este experimento se estudió el rendimiento de planes de tiempo fijo versus semáforos actuados por vehículos de transporte público. Se definieron tres estrategias. Estrategia 1: un plan fijo consistente en un tiempo de ciclo corto ($C = 60$ s) y alta razón de

verde efectivo ($u = 0,68$); Estrategia 2: un plan fijo óptimo calculado según el método de minimización de demoras a vehículos de Webster and Cobbe (1966); y Estrategia 3: la programación óptima anterior, pero con semáforos actuados por buses. Se compararon las demoras promedio de pasajeros de buses y autos para las tres estrategias mencionadas, cuyos resultados son analizados en el Capítulo 3.

Se modeló una intersección ficticia con alto grado de saturación, como la mostrada en la Figura 3. Un flujo de 1200 vehículos livianos por hora se aproxima por la pista de tráfico general de la Calle Poniente. El flujo en la pista sólo bus fue variado entre 36 y 216 buses por hora. La demanda promedio de subida por bus fue de 5 pasajeros. Ningún pasajero bajó en el paradero. Por la Calle Norte llega un flujo de 3200 vehículos livianos por hora.

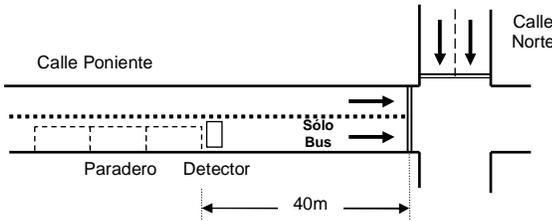


FIGURA 3: Intersección del Experimento de Prioridad en Semáforos

2.4 Penalización por Traspordo en Estaciones

Se entiende penalización por traspordo al tiempo de viaje adicional que toma a los pasajeros del sistema de transporte público la caminata entre un servicio y otro (tiempo de acceso), más el tiempo de espera del nuevo servicio. Su importancia radica en que los usuarios perciben estos tiempos como si fuesen el doble o triple del tiempo de viaje en el vehículo. Varios autores sugieren que un traspordo bien sincronizado impone un tiempo adicional de viaje de entre 2 a 9 minutos (White, 1986).

El objetivo de este experimento consistió en estimar la penalización por traspordo que ocurrirá en la estación de Las Rejas en la hora punta mañana una vez que Transantiago esté operando en régimen. Mediante MISTRANSIT se pudo calcular tanto el tiempo de caminata como el de espera entre servicios alimentadores, troncales y el Metro en la estación. En la Figura 4 se muestra la modelación en 2 y 3 dimensiones realizada sobre la plataforma del microsimulador de tráfico PARAMICS. Los paraderos 04, 05 y 08 atienden servicios alimentadores. El resto son para servicios troncales. Un total de 650 buses y 18600 pasajeros fueron simulados durante una hora de operación de la estación. Aproximadamente el 77% combina desde buses al Metro, un 16% desde el Metro a buses y el 7% restante entre buses alimentadores y troncales.

Dos patrones de llegadas de buses fueron analizados: llegadas regulares a intervalo constante y llegadas aleatorias. Para los pasajeros se asumió llegadas aleatorias y se probó qué pasaba si el 30 y 50% de los pasajeros que llegaban desde el Metro lo hacían en grupo. Los resultados se describen en el Capítulo que sigue.

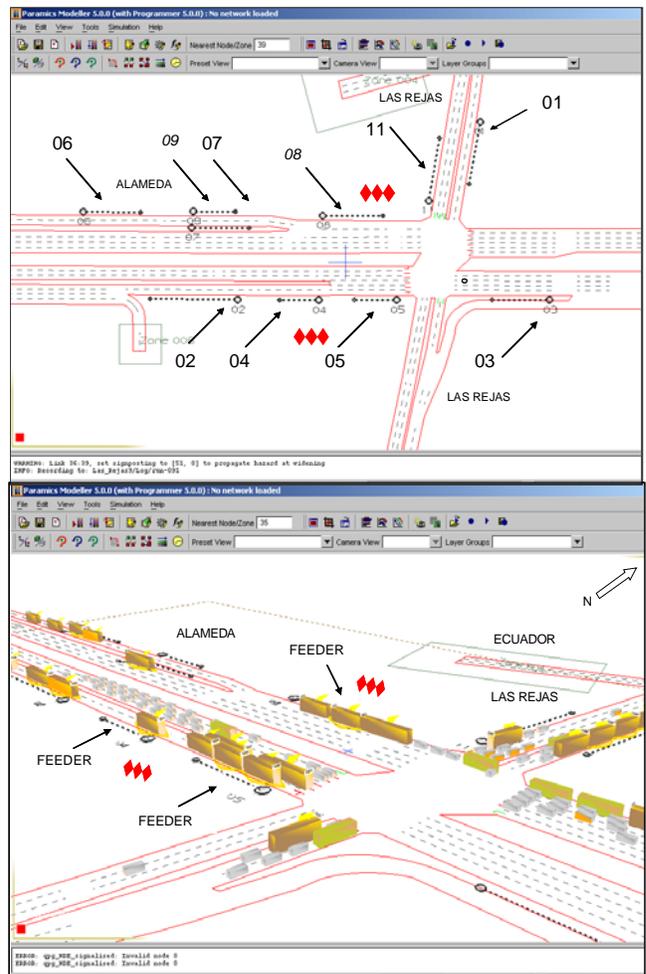


FIGURA 4: Modelación 2D y 3D de la Estación de Traspordo Las Rejas

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En lo que sigue se resumen los resultados y discusión de los experimentos detallados más arriba. Pormenores de estos y otros análisis realizados con MISTRANSIT pueden ser consultados en Burgos (2006).

3.1 Capacidad de Estaciones Divididas

Se observó una reducción en la capacidad del área de parada de aguas arriba de la estación que depende del número de sitios. Para 3 sitios, la capacidad se reduce en casi un 9%. En el caso de 2 sitios, la reducción aumenta al 17%. Sin embargo, dichas reducciones se reducen a un 7% – independiente del número de sitios – si se cumplen las siguientes recomendaciones de Gibson y Fernández (1995): (a) las áreas de parada se encuentran a una distancia igual o superior a la equivalente al largo de 3 buses entre sí; (b) la longitud media de cola en el área de parada de aguas abajo es menor o igual a 0,5 buses. Este resultado refutaría la independencia de funcionamiento de áreas de parada cuando se dan las condiciones (a) y (b) mencionadas. Por otra parte, no se reportaron influencias sobre la capacidad del área de parada de aguas abajo. En consecuencia, la capacidad global de una estación dividida (Q_E) como la de la Figura 2, se obtendría como:

$$Q_E = Q_1 + Q_2 \tag{2}$$

$$Q_2 = \begin{cases} 154 - 0,95q_1 ; & 3 \text{ sitios} \\ 119 - 1,29q_1 ; & 2 \text{ sitios} \end{cases}$$

Donde Q_1 y Q_2 es la capacidad del área de parada de aguas abajo y aguas arriba, respectivamente, y q_1 es el flujo que llega al área de parada de aguas abajo; todas las variables en [bus/h].

Este resultado no había sido reportado antes con otros modelos de microsimulación de tráfico. En todo caso, la capacidad de una estación dividida para $m = 2$ y $n = 3$ es alrededor de 150 [bus/h], dependiendo de las tasas de subida y bajada de pasajeros por bus. En nuestro caso, estas fueron de 10 y 6 [pax/bus], respectivamente.

3.2 Efecto de Semáforos Aguas Abajo

La Tabla 1 muestra los resultados de este experimento. En general, se confirma lo afirmado por Gibson (1996) en su oportunidad usando el modelo IRENE. Sin embargo, en nuestros resultados el rango de reducción de capacidad es mayor (0 a 60%). Por ejemplo, para el mismo caso referido en 2.2, se obtiene una reducción del 19% *versus* el 11% reportado por Gibson (1996). La diferencia proviene de los distintos patrones de llegada de pasajeros usados por MISTRANSIT (exponencial negativa) e IRENE (constante). Además, las llegadas de buses siguen en IRENE una distribución Cowan M3 (Cowan, 1975), mientras que en MISTRANSIT se usó una distribución exponencial negativa simple.

Se observa, sin embargo, un patrón más sistemático bajo condiciones FIAO (First-In-Any-Out) que FIFO (First-In-First-Out). Esto se debe a que en PARAMICS la operación por defecto de un paradero es FIAO. Es decir, si un bus ha terminado su transferencia de pasajeros y encuentra una brecha en la pista adyacente, adelantará siempre a otro bus detenido en el paradero. En nuestro experimento hubo que forzar el modelo para reproducir las condiciones FIFO mediante una pista sólo bus. Esto lleva a que en condiciones FIAO la pista del paradero tiene tráfico mixto (buses y autos); es decir, presenta una condición más general.

TABLA 2: Porcentaje de la Capacidad Base ⁽¹⁾ de un Paradero Afectado por un Semáforo

Disciplina D [bus]	C [s] U	FIFO			FIAO		
		60	90	120	60	90	120
0	0.38	46	52	38	71	59	52
	0.48	50	53	41	78	67	65
	0.58	63	55	55	81	77	73
	0.68	81	81	86	88	84	80
1	0.38	85	78	73	80	74	68
	0.48	87	83	80	84	78	76
	0.58	87	87	87	87	84	82
	0.68	87	87	87	90	88	88
3	0.38	96	72	69	91	84	81
	0.48	99	77	75	92	90	86
	0.58	99	83	84	94	91	90
	0.68	100	88	90	96	94	92

⁽¹⁾: Capacidad sin semáforo aguas abajo; FIFO: 228 [bus/h] y FIAO: 241 [bus/h]

En cualquier caso, si un paradero se encuentra dentro del área de influencia de un semáforo aguas abajo (3 largos de bus de distancia o menos), el semáforo debe operar con un ciclo corto y/o alta razón de verde efectivo.

3.3 Prioridad en Semáforos

La combinación de MISTRANSIT y PARAMICS permitió evaluar los beneficios y costos tanto para los usuarios del transporte público como privado de las distintas estrategias de programación de semáforos detalladas en 2.3. Estos se resumen en la Figura 5 para toda la intersección.

En general, los resultados indican que resulta más eficiente un plan de tiempo fijo como el sugerido por Gibson y Fernández (1996); es decir, un tiempo de ciclo corto combinado con una alta razón de verde, mostrada en la figura como Estrategia 1. Sin embargo, comparando la Estrategia 2 (método tradicional de minimización de demoras a vehículos) con la 3 (idem con semáforos actuados por buses), se observa una marcada reducción de las demoras a usuarios si se usan semáforos actuados por buses. No obstante, conforme el flujo de buses aumenta, la Estrategia 3 pierde rápidamente su efectividad, pasando de un 75% hasta un 10% de reducción en las demoras totales en la intersección. Este es un resultado esperado, ya que los semáforos actuados por buses se recomienda aplicarlos cuando el flujo de buses es bajo (1 a 2 por ciclo). Sobre ese umbral, un plan de tiempo fijo es recomendable.

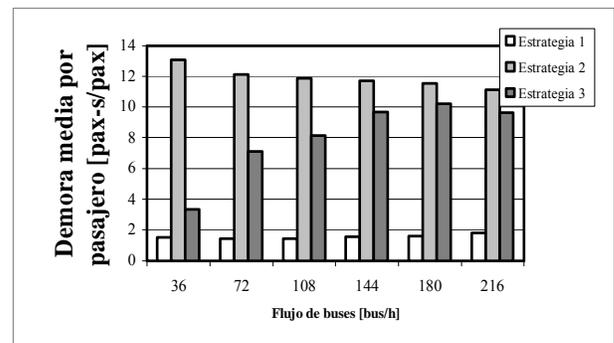


FIGURA 5: Efecto de Estrategias de Prioridad a Buses en Semáforos

Burgos (2006) reporta además que los vehículos particulares que comparten la calle con los buses también se benefician de la detección de los buses. Sus demoras se reducen entre un 40 y 20% y la longitud media de cola disminuye entre un 37 y 17%.

3.4 Penalización por Tránsito

La Tabla 3 condensa los resultados de la simulación de la operación estación de tránsito Las Rejas. Esto es posible ya que MISTRANSIT considera a cada pasajero como entidad de modelación. Por lo tanto, puede seguirlo y registrar sus estadísticas.

TABLA 3: Penalización por Tránsito en Estación Las Rejas

Patrón llegada buses	Regular		Aleatorio	
Pasajeros en pelotón	30%	50%	30%	50%
Tiempo medio espera [min]	4.85	7.32	6.60	8.43
Tiempo medio acceso [min]	2.25			
Penalización tránsito [min]	7.10	9.57	8.85	10.68

Como muestra la tabla, los tiempos adicionales por tránsito fluctúan entre 7 y 11 minutos. Esto no es una novedad, ya que tanto la literatura como la experiencia sugiere que la penalización por tránsito puede fluctuar entre los 8 y 22 minutos (promedio) entre distintos sistemas de transporte público (Currie, 2005). Aunque este resultado se circunscribe a una estación, los números muestran que el efecto del tránsito es menor si los intervalos entre buses son regulares. En caso contrario, y asumiendo que un viaje implica un tránsito cerca del origen y otro cerca del destino, se podría esperar un aumento en el tiempo de viaje de 10 a 20 minutos.

4. COMENTARIOS Y EXTENSIONES

Este artículo describe una nueva herramienta de simulación microscópica de operaciones de transporte público de superficie llamada MISTRANSIT, basada en la plataforma PARAMICS. El modelo es capaz de manejar tanto las interacciones de los vehículos de transporte público con el resto del tráfico en calles e intersecciones y entre vehículos y pasajeros en paraderos o estaciones. De esta forma se ha tratado de cerrar la brecha existente entre la sola simulación del tráfico y la de paraderos aislados.

Este trabajo se demostró que es posible con nuestra aproximación al problema representar una variedad de estrategias operacionales que antes eran difíciles de modelar en simuladores de tráfico tradicionales. Se ha podido cuantificar, vía experimentos de simulación, penalizaciones por trasbordo en estaciones, diversas estrategias de prioridad a buses en semáforos, efectos de la programación de semáforos en la capacidad de paraderos, y capacidad de estaciones divididas de BRT. Hasta donde se ha revisado, esta mezcla de aplicaciones no ha sido reportada en la literatura (ver Burgos, 2004). En consecuencia, MISTRANSIT es una contribución al estado del arte de la microsimulación de tráfico. En particular, si sistemas BRT se están ejecutando en ciudades como Santiago (Transantiago) o Londres (East London Transit, Greenwich Waterfront Transit; TfL, 2007).

El trabajo continúa y será reportado en otras publicaciones. Se está estudiando la aplicabilidad, costos y beneficios globales de otras estrategias de prioridad en semáforos, como pistas sólo bus cortas entre un paradero y la línea de detención y pre-semaforización para facilitar maniobras de vehículos de transporte público. También, se analiza potenciales beneficios de otorgar prioridades aisladas al transporte público, como segregación del resto del tráfico (i.e., pistas sólo bus) sin diseño de estaciones y diseño de estaciones sin segregación del resto del tráfico. Los resultados tendrán incidencia para el diseño de instalaciones para BRT, como la necesidad (o no) de vías segregadas, semáforos actuados por buses o facilidades de trasbordo.

AGRADECIMIENTOS

La investigación que ha dado origen a este artículo ha sido financiada por las siguientes entidades: Universidad de los Andes, Proyecto ICIV-002-07; FONDECYT, Proyecto 1061261; Instituto Milenio Sistemas Complejos de Ingeniería. Cualquier error u omisión es responsabilidad de los autores solamente.

REFERENCIAS

- Burgos, V. (2006) **Nuevo enfoque para modelar la operación del transporte público en microsimuladores de tráfico**. Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Transporte, Universidad de Chile.
- Burgos, V. (2004) **Revisión de la incorporación del transporte público en modelos microscópicos de tráfico**. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- Burgos, V., R. Fernández y C. Cortés (2005) Desarrollo de un simulador de operaciones de transporte público en un ambiente de microsimulación de tráfico. **Actas del XII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, Valparaíso, 245-258.
- Cortés, C., V. Burgos y R. Fernández (2006) Modelling passengers, buses and stops in traffic microsimulators. Review and extensions. **Sent to Transportation Research A**, May 2006.
- Cortés, C., R. Fernández y V. Burgos (2007) Modeling passengers, buses and stops in traffic microsimulators. The MISTRANSIT approach on the PARAMICS platform. **86th TRB Annual Meeting**, Transportation Research Board, January 21-25, 2007.
- Cowan, J. R. (1975) Useful headway models. **Transportation Research** 9, 371-375.
- Curire, G. (2005) The Demand Performance of Bus Rapid Transit. **Journal of Public Transportation**, 8(1), 41-55.
- Fernandez, R. (2003) Study of bus stop operation in arterial roads by simulation. **ITE Journal** 73(4), 77-81.
- Fernández, R. y R. Planzer (2002) On the capacity of bus transit systems. **Transport Reviews** 22(3), 267-293.
- Fernández R. y N. Tyler (2005) Effect of passenger-bus-traffic interactions on bus stop operations. **Transportation Planning and Technology** 28(4), 273-292.
- Fernández, R., C. Cortés y V. Burgos (2006) Modelación de pasajeros, buses y paraderos en microsimuladores de tráfico. Revisión y extensiones. **Actas del XIV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte**, Gran Canaria, España.
- Gibson, J. (1996) Effects of a downstream signalised junction on the capacity of a multiple berth bus stop. **Proceedings of the 24th PTRC European Transport Forum**, London.
- Gibson, J. y R. Fernández (1995) Recomendaciones para el diseño de paraderos de buses de alta capacidad. **Apuntes de Ingeniería** 19(1), 35-50.
- NATO (1976) Bus Priority Systems. **NATO CCMS Report N°45**.
- TfL (2007) Transport for London website.
- www.tfl.gov.uk/corporate/projectsandschemes/networkandservices/2031.aspx
- TRB (2000) Highway Capacity Manual, HCM2000, **Special Report 209, Transportation Research Board**, Washington, D.C.
- TRB (2003a) Bus Rapid Transit. Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit. **TCRP Report 90, Transportation Research Board**, Washington, D.C.
- TRB (2003b) Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2nd Edition. **TCRP Report 100, Transportation Research Board**, Washington, D.C.
- Webster, F.V. y F.M. Cobbe (1966). Traffic Signals. **Road Research Technical Paper 56**. HMSO.
- White, P. (1986) **Public Transport: its planning, management and operation**. 2nd ed. Hutchinson, London.