

MEDIDAS DE PRIORIDAD AL TRANSPORTE PUBLICO

Rodrigo Fernández A.
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
Casilla 228-3, Santiago, Chile
Fax : 671 8788 ; E-mail : rodferna@cec.uchile.cl

RESUMEN

Existe poca claridad en el medio nacional respecto de qué medidas de prioridad al transporte público de superficie se deben aplicar para mejorar la movilidad en el servicio de buses. La movilidad en transporte público es un asunto más integral que incluye a la accesibilidad, el acceso y el movimiento de los vehículos. Pero, aún desde la sola perspectiva de la circulación de los buses, el problema es complejo y debe ser previamente definido antes de optar a priori entre pistas sólo bus, vías segregadas o paraderos '*diferidos*'. Este artículo aborda las medidas de prioridad a los buses desde el punto de vista del tráfico. Como una forma de aportar al análisis, se discuten los aspectos de descripción del fenómeno, opciones y selección de medidas, referencias y recomendaciones provenientes de la investigación chilena y extranjera en el último tiempo. Se concluye de lo anterior que la práctica nacional en este tema requiere ser actualizada.

1. INTRODUCCION

La *movilidad* en transporte público ha sido definida como la facilidad para moverse en ese medio, siendo sus principales componentes la *accesibilidad* o facilidad para alcanzar el sistema, el *acceso* o facilidad para entrar o salir de los vehículos en los puntos de acceso al sistema (paraderos o estaciones), y el *movimiento* o facilidades para la circulación de los vehículos por la vías (Fernández, 1998).

Los esquemas de prioridad al transporte público de superficie tienen como objetivo mejorar la movilidad en el modo bus. Esto significa emprender acciones sobre todas y cada una de las componentes de la movilidad mencionadas más arriba, no sólo sobre las orientadas al movimiento de los vehículos. Por ejemplo, mejorar las veredas y cruces peatonales para llegar a los paraderos, diseñar apropiadamente cada paradero y otorgar prioridades para el desplazamiento de los buses por las calles e intersecciones.

Sin embargo, si sólo se adoptase la perspectiva tradicional de mejorar la etapa de movimiento de los vehículos de transporte público de superficie, el tipo de prioridad que debe ser aplicada dependerá de dónde se están produciendo los problemas. Por ende, no es cuestión de elegir de antemano entre pistas sólo bus, vías segregadas, paraderos divididos, prioridad en semáforos, etc. El abanico de opciones es amplio y combinaciones de medidas son, las más de las veces, requeridas. Una manera de abordar el problema de prioridad al movimiento de los buses se discute en los capítulos siguientes.

2. CIRCULACION DE LOS BUSES

Desde la perspectiva de la circulación de los buses, un modelo descriptivo puede ayudar a entender el problema (EBTU, 1982 ; Gibson et al, 1989). Este modelo se basa en la velocidad comercial o tiempo de viaje como uno de los índices de calidad de servicio de los buses. Sin embargo, como en todo sistema de transporte, existen otros componentes del nivel de servicio, no menos importantes, como tiempos de accesibilidad y de espera, comodidad, seguridad y confiabilidad, que no son considerados en el análisis que sigue, pero que deberían estar presente un estudio más global.

La *velocidad comercial* (V_c) de un bus en un tramo corresponde a la velocidad media de viaje entre un paradero origen y otro destino, incluyendo todas las detenciones intermedias. Es una variable que puede usarse para el diagnóstico del desplazamiento de los buses. De varias experiencias (Gibson et al, 1989 ; Fernández, 1996) se ha llegado a establecer que la velocidad comercial se relaciona con la frecuencia de detenciones según la siguiente relación :

$$V_c = V_o e^{-\alpha f_d} \quad (1)$$

donde :

- V_c : velocidad comercial de los buses (km/h)
- f_d : frecuencia de detenciones por cualquier causa (det/km)
- V_o : parámetro que representa la velocidad de recorrido de los buses (km/h)
- α : parámetro que representa el efecto marginal de cada detención

Los valores de los parámetros de la Ec.(1) son estables en diversos ambientes (tráfico mixto, pistas sólo bus, vías segregadas para buses). En el caso de Santiago, se han encontrado valores de $V_o = 35$ km/h y $\alpha = 0.14$.

La velocidad comercial se puede también expresar como :

$$V_c = \frac{L}{T_t} \quad (2)$$

donde :

L : longitud del tramo

T_t : tiempo total de viaje en el tramo (incluidas demoras por detenciones)

El tiempo total de viaje, por su parte, se puede descomponer como sigue (EBTU, 1982) :

$$T_t = t_m + t_i + t_p \quad (3)$$

donde :

t_m : tiempo de viaje en movimiento

t_i : tiempo consumido en intersecciones

t_p : tiempo consumido en paraderos

Pero :

$$t_m = \frac{L}{V_r} \quad (4)$$

$$t_i = N_i d_i \quad (5)$$

$$t_p = N_p d_p \quad (6)$$

donde :

L : longitud del tramo

V_r : velocidad de recorrido de los buses (excluidas detenciones)

N_i : número de intersecciones en el tramo

d_i : demora media por bus en intersecciones

N_p : número de paraderos en el tramo

d_p : demora media por bus en paraderos

Pero :

$$d_p = d_o + d_c \quad (7)$$

donde :

- d_o : demora media por bus debido a operaciones de transferencia en paraderos
- d_c : demora media por bus debido a congestión en paraderos

Luego :

$$T_i = \frac{L}{V_r} + N_i d_i + N_p (d_o + d_c) \quad (8)$$

Para un tramo dado, tanto L como N_i se pueden considerar fijos. Por lo tanto, la Ec.(8) sirve para determinar sobre qué variables actuar y bajo qué circunstancias. Permite, por ende, definir mejor el problema y orientar acciones.

3. MEDIDAS DE PRIORIDAD

Considerando la Ec.(8) que describe la circulación de los buses, si la demanda de pasajeros es baja, d_o será reducida (eventualmente cero si no sube ni baja nadie en algún paradero) y d_c casi inexistente. Luego, el tercer término tendrá poco efecto en el tiempo de viaje. En tal caso, para reducir los tiempos de viaje, se puede aumentar V_r y disminuir d_i (ya que L y N_i son fijos). Esto significan opciones como :

- Proteger a los buses de los autos (pistas sólo bus, vías segregadas, etc.).
- Dar prioridad a los buses en intersecciones (programar semáforos, semáforos actuados por buses, facilidades en virajes, etc.).

Si la demanda de pasajeros aumenta, d_c seguirá tendiendo a cero, pero d_o se hace significativa. En tal caso, el tercer término comienza a pesar y se puede reducir mediante medidas como :

- Mejorar el sistema de cobro de la tarifa (fuera del vehículo, pases estacionales, etc.).
- Mejorar el diseño de los vehículos (altura, espacio interior, ancho y uso de puertas).

Si la demanda de pasajeros sigue aumentando, d_o aumenta y aparece d_c . En tal situación, se debe actuar sobre ambas y N_p . Para esto sirven medidas como :

- Optimizar el espaciamiento y localización de paraderos (paraderos formales).
- Mejorar el diseño de los paraderos (áreas de parada, andenes, manejo de la capacidad).

Estos tres conjuntos de medidas definen el espectro de las medidas de prioridad al transporte público y sus objetivos específicos :

- *Prioridad en arcos*: aumentar la velocidad de recorrido (V_r) protegiendo a los buses de la congestión causada por los autos.
- *Prioridad en intersecciones*: reducir la demora en intersecciones (d_i) permitiendo que los buses pasen fácilmente a través de ellas.
- *Prioridad en paraderos*: reducir las demoras en paraderos (d_o y d_c) mediante diseños apropiados de áreas de parada, andenes y operaciones de transferencia..

4. SELECCIÓN DE MEDIDAS

Para saber sobre qué variables actuar, EBTU (1982) ofrece algunos indicios. En primer lugar y como indicador general, si la velocidad comercial V_c es menor a 20 km/h habrá que ver cuál es la causa observando cada una de sus componentes.

La necesidad de prioridades en arcos se puede establecer analizando la velocidad de recorrido V_r de los buses en un tramo. Si ésta es menor a 35 km/h, que corresponde a la velocidad comercial si no existiesen detenciones según Ec.(1), se puede tratar de aumentar mejorando el pavimento o generando pistas sólo bus, vías segregadas o calles exclusivas que impidan que la congestión del resto del tráfico afecte a los buses.

La necesidad de prioridades en intersecciones se puede determinar analizando demoras, detenciones y colas que puedan afectar la circulación de buses. Si la demora media por bus en una intersección semaforizada es mayor que la mitad del tiempo de ciclo, significa que la razón de verde efectivo para esa rama es menor que 0,5 y no se le estaría dando debida importancia en la programación del semáforo. También es un indicio de ausencia de facilidades para los buses en intersecciones si la tasa media de detenciones por bus es mayor que uno. Significa que se producen colas excedentes en la intersección que están afectando a los buses. Por último, si las colas que se generan en la línea de detención son mayores que la distancia entre ésta y el primer sitio del paradero, el funcionamiento del semáforo afectará la operación del paradero (Gibson y Fernández, 1996).

Todo lo anterior se puede subsanar cambiando semáforos por intersecciones de prioridad, otorgando ondas verde para los buses, programando los semáforos en función de los buses, usando semáforos actuados por buses, o generando pistas sólo bus al llegar a la intersección para que los buses sobrepasen las colas de vehículos y alcancen la línea de detención sin obstáculos.

El requerimiento de prioridades en paraderos se determinará a partir de las demoras, detenciones y colas generados en éstos. Si tanto la demora media por bus en paraderos es mayor que 60 segundos, como la longitud media de cola es mayor que 0,5 buses (es decir, un bus en cola el 50% del tiempo), significa que su grado de saturación es mayor a 0,6, que se ha definido como el grado de saturación práctico para el diseño de paraderos (Gibson y Fernández, 1995). Asimismo, si la tasa media de detenciones por bus es mayor que uno implica que se están produciendo detenciones múltiples por

congestión o deficiente operación del paradero. En todos estos casos un correcto diseño físico y operacional de los paraderos reducirá los índices de rendimiento descritos.

Adicionalmente, en Gibson et al (1989) se puede encontrar otro criterio para el diagnóstico : si la proporción de buses en el flujo de la calle es más de un 20%, éstos se imponen sobre el resto del tráfico y las medidas de prioridad deberían concentrarse en paraderos antes que en arcos o intersecciones.

Dependiendo de qué problemas se trate, corresponderá hacer los estudios específicos a las opciones mencionadas más arriba. Todo lo anterior requiere medir flujos de buses y autos ; velocidades comerciales y de recorrido ; número, causa y duración de las detenciones en el corredor bajo análisis. Como resultado se tendrá el diagnóstico del problema, o sea, su formulación y sus causas.

5. RECOMENDACIONES

Los resultados de una correcta implantación de medidas de prioridad al transporte público son importantes. Se pueden alcanzar velocidades comerciales comparables a la de un sistema de metro (30 a 32 km/h) con esquemas de prioridad a buses (Gibson et al, 1989).

En efecto, de acuerdo con la Ec.(1), si los buses operaran en una vía segregada, con paraderos distanciados 500 m, pero deteniéndose 2 veces en promedio en cada uno, se tendría una velocidad comercial de 20 km/h (Fig.1). Con una única y eficiente detención en paraderos, se alcanzaría una velocidad comercial de 25 km/h. Bajo las mismas condiciones, con prioridad en los semáforos, se lograría una velocidad comercial promedio superior a los 28 km/h. Y, si la frecuencia de detenciones fuese igual a la del metro (1.0 a 1.3 det/km), la velocidad comercial podría subir a 31 km/h (Fernández, 1996).

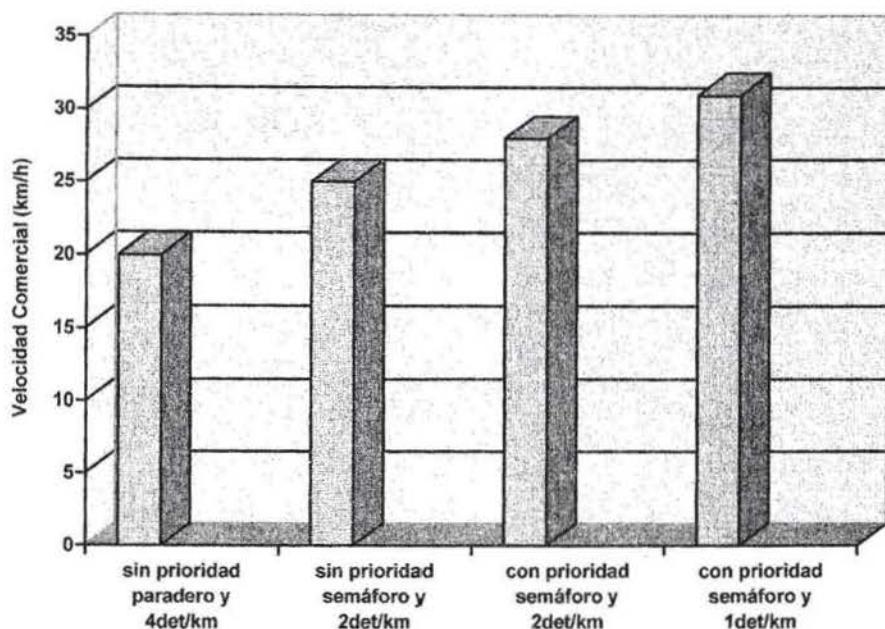


Fig. 1 : Velocidad comercial en vía segregada

Para alcanzar lo anterior, EBTU (1982) contiene una serie de recomendaciones de proyecto para dar prioridad al transporte público en realidades similares a las chilenas que pueden ser usadas.

En un ámbito más específico, si el problema radica en los paraderos, como ocurre con frecuencia en el medio nacional, existe un cuerpo de conocimientos establecido y basado en varias investigaciones.

Al respecto, Gibson y Fernández (1995) ofrecen una guía para el diseño de paraderos de alta capacidad, donde se establece que un funcionamiento apropiado de un paradero se obtiene para grados de saturación bajos (menores a 0,65). Algunos valores de capacidades se muestran en la Tabla 1 para un grado de saturación igual a 0,6, que podría considerarse el grado de saturación práctico de paraderos (notar la diferencia con el valor 0,9 en semáforos). En tales circunstancias, la longitud media de cola a la entrada del paradero será de 0,5 buses, o sea, a lo más 1 bus el 50% del tiempo, y la demora media resultará de aproximadamente 60 segundos por bus.

Por otra parte, en Gibson y Fernández (1996) se encuentran criterios para tratar la interacción entre semáforos y paraderos, donde se determina que la influencia de intersecciones semaforizadas cercanas aguas abajo puede producir reducciones de hasta un 40% en la capacidad. También en Gibson et al (1997) hay un análisis cuantitativo de los esquemas de paraderos implementados en Santiago y una discusión sobre cómo mejorar su eficiencia a la luz de los resultados anteriores.

Con posterioridad, Fernández (1998) propone recomendaciones de diseño de paraderos a partir de experimentos de simulación. Por último, en Fernández y Salamanca (1999) se ejemplifican los aspectos que deberían ser considerados a la hora de diseñar paraderos de estándar apropiado.

A modo de ejemplo de los avances mencionados, la Fig.2 muestra las recomendaciones de diseño físico de un paradero dividido, compuesto por dos subparaderos con dos sitios cada uno y dispuestos linealmente (Fernández, 1998). Según la Tabla 1, si la tasa media de subida de pasajeros por bus fuese igual a 2 pasajeros por bus, un diseño como el mostrado podría atender hasta 260 buses por hora (130 bus/h cada subparadero). No obstante, si la tasa de subida es de 12 pax/bus, la capacidad de atención se reduce a menos de la mitad : 120 bus/h ó 60 bus/h por cada subparadero.

Todo lo anterior actualiza las recomendaciones de diseño físico y operacional que se han venido manejando en el medio nacional (MINVU, 1984 ; SECTRA, 1998). Según éstas, un paradero como el de la Fig. 1 podría ser capaz de atender hasta 200 buses por hora, si tasa de subida varía entre 8 y 14 pax/bus. Pero, como para esas tasas de subida el paradero estaría saturado, se producirían demoras de 3 minutos por bus y longitudes de cola mayores a 5 buses en cada subparadero (ver Gibson y Fernández, 1995), generando grave congestión al interior del paradero.

En resumen, como regla práctica general, se puede considerar un valor de capacidad de diseño de paraderos de 30 a 60 bus/h/sitio, dependiendo principalmente de la tasa de subida de pasajeros a los buses, de las condiciones de uso del área de parada y de los patrones de llegada de los buses y pasajeros al paradero.

Tabla 1 : Capacidades prácticas de paraderos¹

Tipo de Operación	ORDEN ²				DES-ORDEN ³
	12	8	4	2	
Tasa Subida (pax/bus)	12	8	4	2	8
Tasa Bajada (pax/bus)	6	4	2	1	4
Número de Sitios	CAPACIDAD PRACTICA ⁴ (bus/h)				
2	60	80	100	130	70
3	80	105	125	160	80

¹ Adaptado de Gibson y Fernández (1995).

² Disciplina FIFO, buses paran una vez en el sitio más próximo a la salida.

³ Adelantamiento permitido, detenciones múltiples y en cualquier sitio.

⁴ Estimada para un grado de saturación 0.6.

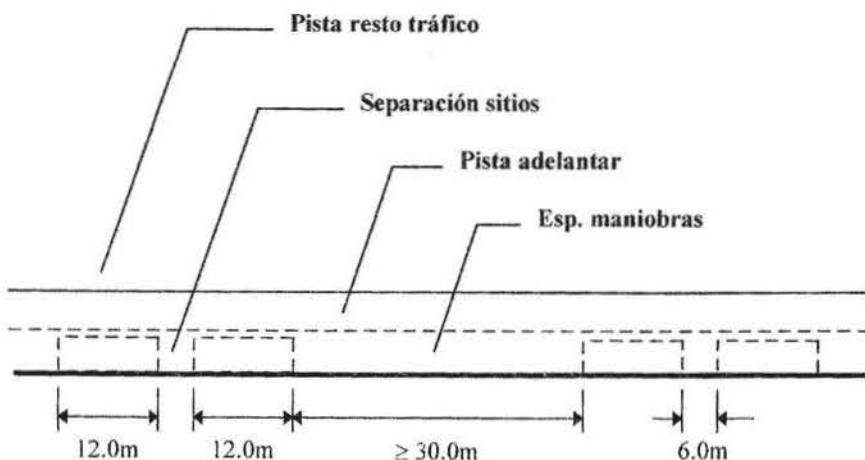


Fig. 2 : Recomendaciones de diseño de un paradero dividido

6. COMENTARIOS

Los buses constituyen el sistema de transporte público por defecto : toda ciudad posee algún sistema de buses, pero sólo unas pocas sistemas de metro o ferrocarriles urbanos. Además, todo viaje en transporte público se inicia y termina en la puerta de una propiedad. Por lo tanto, para que las prioridades al transporte público sean efectivas es necesario abarcar las etapas de accesibilidad y acceso a los buses, así como la de movimiento en los buses.

Sin embargo, en este artículo se ha demostrado que aún en la etapa de movimiento los buses se debe poner atención a más de un tipo de prioridades para lograr un transporte público eficiente desde la perspectiva de la circulación: en arcos, en intersecciones y en paraderos. Esto sugiere recurrir tanto a las medidas tradicionales (pistas sólo bus, vías segregadas y prioridad en intersecciones), como a las facilidades otorgadas por diseños físicos y operacionales en paraderos.

Si los flujos de buses en algunos de los principales corredores de transporte público de Santiago son mayores a las capacidades prácticas de paraderos tradicionales (v.g. 200 bus/h en Av. Matta, 450 bus/h en Av. Providencia, 600 bus/h en La Alameda), surge la necesidad de diseños adecuados para permitir un expedito acceso y movimiento de los buses (paraderos divididos). Esto explica también los fenómenos de congestión cuando dichos diseños no existen o no son del todo apropiados, ya que son los paraderos el principal cuello de botella para la circulación de los buses.

Todo lo anterior plantea un desafío a la ingeniería de transporte chilena. Más aún cuando uno de los pilares de la política de transporte urbano imperante es el mejoramiento del transporte público y una de sus principales componentes es la generación de una red de vías segregadas o prioritarias para el transporte público (SECTRA, 1995). Este trabajo pretende hacer una contribución respecto de algunos

aspectos no considerados en la materialización de tal política, pero que han sido sugeridos por el seguimiento de la vía exclusiva experimental de Av. Grecia (Fernández, 1996).

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte (SECTRA), mandante del estudio del que provienen los datos para estimar escenarios de velocidad comercial en vías segregadas.

REFERENCIAS

- EBTU (1982) *Tratamento preferencial ao transporte coletivo por ônibus*. Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos, Ministerio dos Transportes, Brasilia.
- Fernández, R. (1996) *Análisis Ex-post de la Operación de la Vía Exclusiva para Buses de Avenida Grecia*. Informe Final Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Secretaría Ejecutiva, Santiago.
- Fernández, R. (1998) *Modelling bus stop interactions*. PhD Thesis, University of London (Unpublished).
- Fernández, R. y M. Salamanca (1999) Aspectos de diseño de paraderos de alto estándar. Presentado al *IX Congreso Chile de Ingeniería de Transporte*, Santiago.
- Gibson, J., I. Baeza and L.G. Willumsen (1989) Bus stops, congestion and congested bus stops. *Traffic Engineering and Control* **30**(6), 291-196.
- Gibson, J. y R. Fernández (1995) Recomendaciones para el diseño de paraderos de buses de alta capacidad. *Apuntes de Ingeniería* **18**(1), 35-50.
- Gibson, J. y R. Fernández (1996) Efecto de una intersección semaforizada aguas abajo sobre la capacidad de un paradero de buses con sitios múltiples. *Apuntes de Ingeniería* **19**(4), 31-40.
- Gibson, J., R. Fernández y A. Albert (1997) Operación de paraderos formales en Santiago. *Actas del VIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, 397-408. Santiago.
- MINVU (1984) *Manual de Vialidad Urbana*. Vol.3 : Recomendaciones de Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana, REDEVU, Santiago.
- SECTRA (1995) *Plan de Desarrollo del Sistema de Transporte Urbano Gran Santiago 1995-2010*. Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Secretaría Ejecutiva, Santiago.

SECTRA (1998) *REDEVU: Recomendaciones para el Diseño del Espacio Vial Urbano*. Informe Ejecutivo. Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Secretaría Ejecutiva, Santiago.