

## **MODELOS PARA ESTUDIAR LA ACCESIBILIDAD Y ACCESO AL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO**

Rodrigo Fernández A., Rosemarie Planzer del C., Carolina Palma A.  
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile  
Casilla 228-3, Santiago, Chile, Fax: (56-2) 671 8788  
E-mail: rodferna@cec.uchile.cl, rplanzer@cec.uchile.cl, cpalma@cec.uchile.cl

### **RESUMEN**

Este trabajo presenta los avances de una investigación sobre las ventajas del estudio integrado de los procesos de accesibilidad y acceso al sistema de buses. El trabajo se concentra en una revisión crítica de los modelos existentes que sirven para el estudio por separado de la accesibilidad y acceso al transporte público, seleccionando una estrategia de análisis. El estudio del proceso de acceso a los buses se efectúa mediante la simulación de las interacciones entre pasajeros, buses y tráfico en paraderos. Para ello se utilizó un modelo desarrollado en una etapa previa de esta línea de investigación (PASSION). Por su parte, el examen de la accesibilidad al transporte público se realizó mediante un análisis más conceptual respecto de las variables de ámbito local que influyen en este proceso, seleccionando una función de utilidad asociada a viajes peatonales desarrollada por otros autores. Como resultado, se identifican los factores que más influyen en la accesibilidad y acceso al sistema de buses. Con estos antecedentes, se ejemplifica el uso y alcance de las herramientas seleccionadas y se comentan algunas recomendaciones de diseño que podrían facilitar la movilidad en transporte público.

## 1. INTRODUCCIÓN

En gran parte de los países en desarrollo la mayoría de los viajes diarios se realiza en transporte público. En este sistema el modo mayoritariamente utilizado son los buses; muy pocas ciudades poseen un sistema de metro, y aún en estas, la mayor proporción de viajes se realiza en buses. Por lo tanto, los usuarios necesitan moverse y alcanzar las actividades en buses. El grado de facilidad para realizar este objetivo se define como la movilidad en transporte público. Esta se especifica a través de tres elementos (Tyler, 1996): la accesibilidad, el acceso y el movimiento.

La *accesibilidad* es el grado en el cual es posible para los usuarios alcanzar el sistema de transporte público. Depende de la distancia, tiempo e impedancias para cubrir la parte del viaje entre el origen y el punto más cercano de acceso al sistema. Involucra aspectos físicos (veredas, cruces peatonales, gradientes, etc.) e incluye también la percepción de las dificultades en esta parte del viaje (intimidación, incomodidad, etc.). Por su parte, el *acceso*, es el proceso mediante el cual los usuarios entran y salen del transporte público. Incluye las interacciones en la interfaz donde los peatones se transforman en pasajeros – y viceversa – y envuelve los procesos de espera, subida y bajada de los vehículos. Está, por lo tanto, relacionado con el diseño y gestión de las infraestructuras que facilitan este proceso: estaciones y paraderos. Finalmente, el *movimiento* se realiza entre puntos de acceso e incluye interacciones con el resto del tráfico de la ruta. Está íntimamente relacionado con medidas que faciliten el movimiento de los vehículos de transporte público (prioridades, infraestructuras dedicadas) y la existencia de vehículos cómodos y seguros.

En el sistema de buses los paraderos proporcionan el acceso a los vehículos, determinan la accesibilidad al sistema y condicionan el movimiento. Son, por ende, el nexo entre todos los componentes de la movilidad. En términos del movimiento, los buses consumen la mayor parte del tiempo de viaje detenidos en los paraderos. Las demoras sufridas en estos son muy superiores a las que se registran en intersecciones. Por ejemplo, Gardner et al (1991) reportan una demora media de un bus en una intersección de 15 segundos, mientras que en paraderos ésta puede fluctuar entre 45 y 90 segundos. Por su parte, Lobo (1997) indica que cerca de la mitad de su tiempo en ruta los buses permanecen detenidos en paraderos. Luego, los paraderos aparecen como el principal elemento para el funcionamiento del sistema de buses.

Se ha establecido más arriba que la movilidad en transporte público está compuesta por tres elementos – acceso, accesibilidad y movimiento – y que los paraderos son el nexo entre estos tres elementos. Sin embargo, debido a que las variables que influyen en cada uno son de diversa índole, los estudios de paraderos de buses han tendido a ver el problema sólo desde la perspectiva del movimiento. Esto ha llevado, por ejemplo, a proponer modelos analíticos para calcular la distancia y localización de paraderos como un balance entre el movimiento y la accesibilidad, medida esta última sólo en términos de la distancia de caminata a lo largo de la ruta (ver Tyler, 1992; Fernández, 1993; Gibson y Fernández, 1995; Pietroantonio, 1978). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es mostrar cómo un análisis integrado de la accesibilidad y el acceso a los buses puede ser realizado con algunos modelos existentes. Para ello, en el Capítulo 2 se hace una revisión crítica de distintos modelos. Luego, en el Capítulo 3 se aplican a un caso particular los modelos seleccionados. Finalmente, el Capítulo 4 se hace un breve comentario sobre este ejercicio.



## 2. REVISIÓN DE MODELOS

### 2.1. Modelos del proceso de acceso

Al igual que en cualquier elemento de infraestructura de transporte donde ocurren interacciones entre usuarios (vías, intersecciones, terminales), uno de los aspectos relevantes de la modelación de paraderos es su capacidad. Si ésta no es suficiente, se generan detenciones adicionales, colas de vehículos y demoras de los usuarios, que dificultan el acceso a los vehículos.

La capacidad de una estación de transferencia cualquiera (estación o paradero) puede definirse en términos de los vehículos que puede servir o de los pasajeros que puede transferir para un período dado. Se utilizará la primera de estas perspectivas en este trabajo. Esta puede expresarse de la siguiente manera:

$$Q_E = \frac{\alpha N}{t_o} \quad (1)$$

Donde:

- $Q_E$  : capacidad de un paradero o estación
- $N$  : número de lugares de carga o sitios
- $\alpha$  : disponibilidad de los lugares de sitios
- $t_o$  : tiempo de ocupación de cada sitio

En el caso de paraderos de buses cada sitio permite la entrada de un bus, luego la capacidad de transferencia está expresada en vehículos por unidad de tiempo (v.g. bus/h).

La disponibilidad de cada sitio puede ser expresada como una proporción del tiempo en que el sitio esta libre. Lo anterior depende de las condiciones de operación incluyendo la disposición espacial de los sitios, la disciplina de entrada y salida hacia y desde el sitio y la posibilidad de que un vehículo permanezca en el sitio aún cuando las operaciones de transferencia de pasajeros hayan concluido.

El tiempo de ocupación del sitio, por su parte, dependerá de la cantidad y tipo de pasajeros que se transfieren, del tipo de vehículo y del modo en que se cancela la tarifa.

Existen en la literatura distintos enfoques de modelación de la capacidad y de las interacciones que tienen lugar en paraderos (subida y bajada de pasajeros, llegada de buses, interacción con el tráfico, etc.). A continuación se describen tres de los principales enfoques: el del Highway Capacity Manual (HCM), el de operación de buses en convoy y el enfoque de simulación.

#### 2.1.1. Highway Capacity Manual (TRB, 1985)

En el HCM se propone un método analítico para estimar la capacidad de un sitio, considerando o no la presencia de una intersección semaforizada aguas abajo. El modelo incluye un factor  $R$ , que reduce la capacidad de manera de tomar en cuenta las variaciones en los tiempos de servicio de los

pasajeros en el paradero, equivalente a  $\alpha$  de la Ecuación 1, y otro  $N_b$ , que depende de la eficiencia en el uso de los sitios, equivalente a  $N$  en la misma Ecuación. El HCM establece que la expresión para calcular el tiempo de servicio de los pasajeros dependerá del número y uso de las puertas. El método es práctico y simple. Sin embargo, descansa en evidencia empírica proveniente de un número limitado de casos de estudio (tales como los valores de  $R$  y  $N_b$  obtenidos en terminales de buses) para evaluar el rendimiento de un paradero. Por lo tanto, este enfoque parece demasiado simple para tomar en cuenta un amplio rango de condiciones de operación. Un enfoque para resolver esta limitación ha sido utilizar modelos de simulación microscópica para revisar las predicciones del HCM (ver St Jacques y Levinson, 1997).

### 2.1.2 Operación en convoy (Szász et al, 1978)

La operación en convoy fue estudiada como una manera de aumentar la capacidad de pistas exclusivas para buses en Brasil. Consiste en un grupo de  $N$  buses que viajan con pequeños intervalos entre ellos y se detienen en el paradero en el mismo orden en el que viajan. Cada sitio de parada está destinado a una línea específica por lo que los pasajeros saben en qué parte del andén esperar. Como consecuencia, los pasajeros suben simultáneamente a los buses detenidos. Bajo estas condiciones de operación, se entrega una expresión empírica para la capacidad, proveniente de observaciones realizadas en São Paulo. La expresión también puede ser entendida como la capacidad de un paradero bien organizado con  $N$  sitios ubicados en forma lineal. Se considera que los buses llegan y salen del paradero de acuerdo a una disciplina FIFO y ocupan todos los sitios disponibles. Además, se asume que el tiempo de ocupación del paradero es igual para todos los buses, la demanda de subida es distribuida uniformemente a lo largo de una hora, y que los buses llegan con un intervalo igual al mínimo entre ellos. Por lo mismo, esta fórmula descansa en condiciones muy especiales como para tener validez general.

### 2.1.3. Modelo IRENE (Gibson et al, 1989)

Para superar las limitaciones anteriores, Gibson et al, (1989) desarrollaron un enfoque alternativo basado en la simulación microscópica. Este enfoque considera un paradero aislado con  $N$  sitios dispuestos en forma lineal, con estricta disciplina FIFO o adelantamiento permitido una vez transferidos los pasajeros. Bajo estas condiciones, los buses pueden ingresar al área de parada sólo si el último sitio está libre. Luego, el área de parada puede encontrarse en dos estados:

- Desbloqueado: el último sitio está vacío y una cierta cantidad  $n$  ( $n \leq N$ ) de buses puede entrar al área de parada a una tasa de  $s$  buses por unidad de tiempo. La duración de un período de desbloqueo es, entonces  $n/s$ .
- Bloqueado: el último sitio está ocupado, y ningún bus puede ingresar al área de parada. La duración del período de bloqueo se asume igual a  $t_b$ .

Estos dos estados son cíclicos, donde la duración del ciclo es igual a  $n/s + t_b$ . Durante cada ciclo  $n$  buses pueden utilizar el paradero. Luego, la capacidad, está dada por una expresión similar a la de la Ecuación 1, donde  $\alpha = 1$ ,  $N = n$ , y  $t_o = n/s + t_b$ . El principal problema reside entonces en la estimación de  $t_b$  y  $n$ . En un paradero de sitios múltiples el tiempo de bloqueo  $t_b$  tiene tres componentes: el tiempo perdido para las maniobras de frenado y aceleración, el tiempo de



transferencia de los pasajeros, y una demora extra eventual por bloqueo del sitio siguiente o pista adyacente para adelantar.

Debido a que tanto la forma en que pasajeros y buses llegan al paradero son variables aleatorias el proceso de ocupación del paradero resulta un complejo proceso estocástico. Por lo tanto, los autores desarrollaron el programa de simulación microscópica IRENE.

#### **2.1.4. Modelo PASSION (Fernández, 2000)**

El programa de simulación IRENE puede ser considerado como una de las herramientas más avanzadas actualmente disponibles debido a que permite estudiar variadas condiciones físicas y de operación. Sin embargo, a pesar de los avances logrados el programa presenta algunas limitaciones. Estas se pueden resumir en:

- Poca flexibilidad para representar diversos patrones de llegada de buses y pasajeros.
- No es posible diferenciar entre rutas de buses ni diversos tipos de pasajeros.
- No considera los impactos que tiene la operación del paradero sobre los pasajeros.

Como una forma de tomar en consideración las críticas antes mencionadas, Fernández (2000) desarrolló un modelo que permitiera representar de mejor manera las interacciones que se presentan en paraderos de buses, así como los impactos sobre los pasajeros. De este modo, es posible estudiar las formas en que estos impactos pueden ser manejados para mejorar el acceso a los buses. El modelo desarrollado fue bautizado como PASSION (PARallel Stop SimulatIOn) y alguna de sus características se muestran en la aplicación del capítulo siguiente.

### **2.2. Modelos del proceso de accesibilidad**

La accesibilidad es la etapa previa y posterior al acceso y tiene que ver con la facilidad para alcanzar el sistema de transporte público. En rigor, a sus paraderos o estaciones. Involucra por tanto la etapa peatonal del viaje. Por lo tanto, en lo que sigue se analiza la accesibilidad desde esta perspectiva.

Las barreras de tráfico corresponden a la suma de efectos inhibitorios sobre la conducta de los peatones resultado del impacto de las condiciones de tránsito, ya sean físicas (observables) o psicológicas (no observables) que impiden el movimiento peatonal (TRB, 1985). Los efectos de barrera son frecuentemente ignorados en planificación de transporte y en la práctica de la ingeniería de tránsito, incluso en zonas diseñadas para peatones. Una de las principales razones es la dificultad de medición de variables como patrones de caminata, edad, aptitudes físicas, modo de caminar, características psicológicas, experiencia personal, etc. (Wetherall, 1997).

En la literatura existen pocos estudios que traten el tema de la accesibilidad al transporte público como tema central. En muchos de los trabajos revisados se dan recomendaciones de diseño de espacios destinados a peatones, pero sólo una parte de éstos otorgan herramientas para evaluarlos, sin relacionarlos con la accesibilidad.

Por otra parte, los estudios de carácter cualitativo en los que se han desarrollado modelos, están orientados principalmente a la elección de ruta y, por lo tanto, están más asociados a problemas de demanda que a aspectos de tránsito. Entre estos podemos destacar los siguientes.

### **2.2.1. Highway Capacity Manual (TRB, 1985)**

Este manual considera su evaluación basándose en el nivel de servicio. Este concepto es generalmente utilizado en los vehículos, pero también puede traspasarse a peatones, utilizándolo para definir el relativo grado de comodidad de los peatones. El HCM enfatiza el análisis de los niveles de servicio en relación con el nivel de flujo de peatones, mediante variables tales como la velocidad de caminata y el espacio disponible por peatón.

### **2.2.2. Masamitsu y Hiroshi (1987)**

Los autores propusieron una metodología de evaluación para una sección transversal de vereda considerando la percepción del peatón, lo que permite tomar en cuenta otros factores como la geometría, la superficie, obstáculos y condiciones sanitarias de la vereda. También se tomaron en cuenta factores físicos de la vereda como ancho, flujo y autos estacionados.

### **2.2.3. Seviratne y Morral (1984a y 1984b)**

El estudio, realizado en la ciudad de Calgary en Canadá, es uno de los pocos estudios dirigidos directamente a determinar la conducta de los peatones frente a las variables que inciden en la elección de ruta. Realizando un análisis de los resultados según características de los usuarios y el tipo de viaje, se obtuvo que las principales variables consideradas al escoger una ruta peatonal se mantienen en todos los grupos de usuarios y tipos de viajes.

### **2.2.4. Tyler (1999)**

En el University College London Centre for Transport Studies, se ha venido trabajando en la accesibilidad al transporte público con estudios desarrollados bajo el proyecto APEX (Accessibility to Public transport EXperiment). En éste se presenta un nuevo enfoque que intenta cuantificar el número de personas para las cuales cada elemento del sistema actúa como barrera de acceso y a cuánta gente permitirá acceder al sistema de buses un cambio en estos elementos. Algunos de los elementos considerados son: distancia de caminata, legibilidad, claridad, seguridad personal, calidad de la infraestructura, entre otras. Esta metodología, a pesar de ser la primera propuesta para cuantificar la accesibilidad, presenta algunos problemas: es de difícil aplicación, debido a la dificultad para contar el número de personas que se ven beneficiadas con la mejora de algún elemento del sistema.

### **2.2.5. CITRA (1998)**

Otra forma de abordar el problema nace de un estudio realizado en Chile (CITRA, 1998). En él se identificaron los principales atributos que influyen en los viajes peatonales mediante la técnica de



grupo focal. En este experimento se consideraron mujeres y hombres de entre 20 y 50 años de nivel socioeconómico medio y bajo, principales usuarios del sistema de transporte público del Gran Santiago, segmentados por edad, medio de transporte, impedimentos físicos y frecuencia de viajes peatonales. Luego de identificar las variables relevantes, se realizó un experimento para calibrar un modelo de demanda peatonal.

Basándose en el modelo calibrado se definió una medida de utilidad de las caminatas hacia o desde transporte público, es decir de accesibilidad. En nuestro caso, sirvió para cuantificar de alguna forma el nivel de dificultad para alcanzar los paraderos. Los resultados de su aplicación se muestran en el capítulo siguiente.

### 3. APLICACIÓN DE MODELOS

#### 3.1. Modelación del acceso

El modelo PASSION desarrollado por Fernández (2000) sirvió a esta parte de la investigación como un laboratorio de experimentación de una representación simplificada del sistema en estudio: paradero de buses de un sitio, su andén adyacente y las restricciones impuestas por el tráfico en las inmediaciones. El objetivo de PASSION es reproducir el comportamiento de este sistema en diversas condiciones de salida del paradero y diversos patrones de llegada de buses y pasajeros al paradero.

El programa provee información sobre la ocupación del sitio y el andén debido a varias causas. Esto permite obtener la capacidad del paradero, demoras de los buses debido a diferentes causas (pasajeros, congestión interna, colas), y la cola aguas arriba del paradero. Para el andén, es posible obtener el número de pasajeros que esperan buses de diversas rutas. Estas salidas permitirían al usuario analizar las influencias de condiciones externas sobre el funcionamiento del paradero. Al conocer cómo afecta cada variable analizada es posible dar recomendaciones de diseño que mejoren la operación del paradero.

Mediante PASSION se estudió un paradero de buses cualquiera, para observar la sensibilidad del modelo ante cambios en las variables de entrada. En este ejemplo, se seleccionó un paradero de la ciudad de Londres, dado que sus características se ajustan a las capacidades del modelo. El paradero estudiado es un paradero de un sitio, cercano a la salida de una estación del metro. Presenta un flujo de buses de 22 bus/h, una demanda de subida de 400 pax/h y una de bajada de 70 pax/h. Se evaluó tanto su condición actual como distintos escenarios hipotéticos de funcionamiento.

Algunas de las preguntas que el modelo puede responder fueron: ¿Cambian los índices de rendimiento si se asumen distintos patrones de llegadas de buses y pasajeros al paradero? ¿Pueden las distribuciones tradicionales de llegadas describir adecuadamente las interacciones en el paradero? ¿Cuál es la influencia de que la salida del paradero esté parcialmente obstruida por el tráfico? ¿Cuál es la influencia de distintos tiempos de embarque por pasajero? ¿Cuál es el efecto de distintas capacidades disponibles de los buses al llegar al paradero? El análisis de la operación actual del paradero y bajo los distintos escenarios se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1: Comparación de la operación de un paradero ante distintos escenarios**  
**(a) Efecto de distintos patrones de llegada de pasajeros y buses**

Escenario de llegadas		Reales	Regulares	Exponenciales
Tiempo de Espera (min)	Media	1,63	1,43	3,45
	Máxima	6,12	2,85	16,65
Número Pasajeros en Andén	Media	17,79	17,79	24,79
	Máxima	49,00	20,00	114,00
Demora de Buses (s)	Por Pasajeros	37,11	36,60	36,88
	En Cola	5,62	0,00	3,50
	Total	47,73	41,60	45,38
	Máxima	104,34	48,18	127,87
Capacidad del Paraderos (bus/h)	Media	85,50	86,53	85,97
	Saturación (%)	0,26	0,25	0,26
Longitud de Cola (bus)	Media	0,03	0,00	0,02
	Máxima	1,00	0,00	1,00

**(b) Efecto de salidas parcialmente obstruidas**

Escenario de Salidas		No Obstruidas (Real)	Por Semáforo	Por Tráfico Adyacente
Demora de Buses (s)	Por Pasajeros	37,11	37,11	37,11
	En Cola	0,00	9,88	11,38
	Total	5,62	6,73	11,65
	Máxima	47,73	58,71	65,14
		104,34	128,50	141,95
Capacidad del Paraderos (bus/h)	Media	85,50	69,25	67,14
	Saturación (%)	0,26	0,32	0,33
Longitud de Cola (bus)	Media	0,03	0,04	0,07
	Máxima	1,00	1,00	1,00

**(c) Efecto de distintos tiempos de embarque**

Escenario de Tiempos de Embarque		Promedio Real (2.0 s)	Variables (entre 1.5 y 6.0 s)
Demora de Buses (s)	Por Pasajeros	37,11	66,37
	En Cola	5,62	24,85
	Total	47,73	96,22
	Máxima	104,34	197,37
Capacidad del Paraderos (bus/h)	Media	85,50	50,44
	Saturación (%)	0,26	0,43
Longitud de Cola (bus)	Media	0,03	0,19
	Máxima	1,00	2,00

**(d) Efecto de diferentes capacidades disponibles de los buses**

Escenario de Capacidades		Real (más 50 pax/bus)	Reducida (entre 10 y 50 pax/bus)
Tiempo de Espera (min)	Media	1,63	1,52
	Máxima	6,12	6,20
Número Pasajeros en Andén	Media	17,79	25,32
	Máxima	49,00	49,00
Demora de Buses (s)	Por Pasajeros	37,11	35,52
	En Cola	5,62	1,55
	Total	47,73	42,07
	Máxima	104,34	79,72
Capacidad del Paraderos (bus/h)	Media	85,50	88,85
	Saturación (%)	0,26	0,25
Longitud de Cola (bus)	Media	0,03	0,01
	Máxima	1,00	1,00



Como consecuencia de la aplicación del modelo se pudo concluir que distintas condiciones de operación de paraderos pueden tener efectos importantes en su rendimiento. En particular, parecen ser relevantes los patrones de llegada de pasajeros y buses, las obstrucciones derivadas del tráfico en el entorno al abandonar el paradero, los tiempos de embarque por pasajero, así como la capacidad disponible de los buses. No todos estos efectos pueden ser estudiados con los modelos previos de operaciones en paraderos descritos en el capítulo 2.

### 3.2. Modelación de la accesibilidad

Para el análisis de la accesibilidad se tomó como base el estudio CITRA (1998), el que incluye la mayoría de los elementos que influyen en el peatón y que, por lo tanto, deben ser considerados al momento de proponer una forma de cuantificar la accesibilidad al transporte público. Además, al haber calibrado una función de utilidad para los viajes peatonales se ha encontrado la valoración que dan los usuarios a cada atributo. Por lo tanto, se propone utilizar la función de utilidad calibrada para la elección de ruta peatonal, considerando el valor subjetivo de la caminata de accesibilidad, como un índice de accesibilidad al transporte público. El índice propuesto es:

$$A = \alpha_D D + \alpha_E E + \alpha_I I + \alpha_R R + \alpha_V V + \alpha_W W + \alpha_S S + \alpha_F F + \alpha_L L + \alpha_C C \quad (2)$$

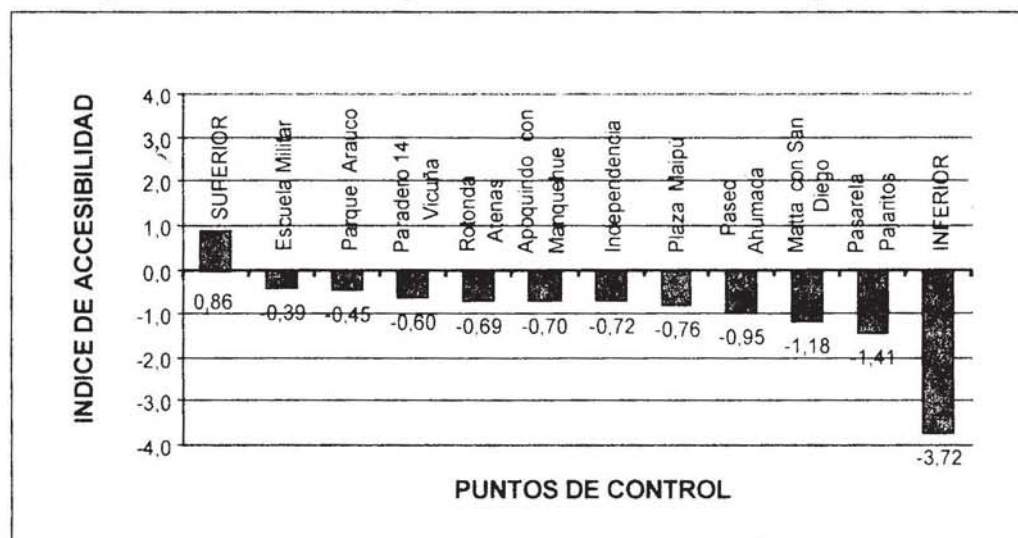
Donde:

- $A$  : valor subjetivo de la caminata (\$/cuadra)
- $D$  : distancia de caminata (cuadras)
- $E$  : condición del entorno (descuidado, normal, agradable)
- $I$  : demora en las intersecciones (min)
- $R$  : nivel de ruido (bajo, medio, alto)
- $V$  : estado de la vereda (deteriorada, normal, excelente)
- $W$  : ancho de la vereda (m)
- $S$  : características de vigilancia (existe, no existe)
- $F$  : franja peatonal (existe, no existe)
- $L$  : características de iluminación (débil, normal, excelente)
- $C$  : congestión peatonal (inexistente, media, alta)
- $\alpha_X$  : parámetro asociado a la variable  $X$

A modo de ejemplo, la medida propuesta fue aplicada en varios puntos de Santiago para comprobar su poder explicativo y representativo de la accesibilidad en diversas condiciones. Los puntos en que se realizaron las mediciones fueron escogidos de manera de englobar todas las situaciones con que se puede encontrar un peatón al momento de acceder al sistema de transporte: rotondas, paseos peatonales, tramos lineales, intersecciones, pasarelas peatonales y puntos de intercambio modal.

Los valores obtenidos para cada uno de los puntos se observan en la Figura 1. El valor indicado como "superior" correspondiente a la evaluación de la función de utilidad en una situación ideal. Este escenario ideal consideró que la distancia de caminata era de no más de una cuadra y los valores más favorables para el resto de los atributos. El valor indicado como "inferior" corresponde a la evaluación de la función en las condiciones más desfavorables para los atributos y una distancia de caminata de hasta 10 cuadras.

Figura 1: Accesibilidad para diversas zonas de Santiago (\$/cuadra)



Para evaluar la capacidad de la medida de accesibilidad para predecir cambios de condiciones, se consideró el mismo paradero reportado en la sección anterior, pero bajo un escenario hipotético en el cual se asume que existe un cruce peatonal aguas abajo del paradero y un diseño de alto estándar del paradero, como el reportado en Fernández y Salamanca (1999). Con esto, se esperaría una reducción de las demoras en el cruce de los peatones. Además, si el paradero contara con un andén segregado de la vereda, se reducirá el nivel de congestión peatonal. Igualmente, el mejor diseño introducirá mejoras en la iluminación, el estado de la vereda y el entorno. Como resultado, en la Tabla 2 puede observarse que el valor de la accesibilidad aumentaría de  $-1.28$  \$/cuadra en la situación actual a  $-0.43$  \$/cuadra en la situación hipotética, lo que representa un tercio del valor inicial.

Tabla 2: Variación de la accesibilidad para el paradero en estudio

Variables	Situación Actual	Situación Hipotética
Distancia caminata (cuadras)	3	3
Entorno	Aceptable	Agradable
Demora en intersecciones (s)	3 a 5	1 a 3
Nivel de ruido	Alto	Alto
Estado de la vereda	Normal	Excelente
Ancho de vereda (m)	2 a 4	2 a 4
Vigilancia	No existe	No existe
Franja Pevalonal	No existe	Existe
Iluminación	Normal	Excelente
Congestión peatonal	Alta	Media
Accesibilidad (\$/cuadra)	-1,28	-0,43



#### 4. COMENTARIOS

Este trabajo ha mostrado los avances que existen en la modelación que están disponibles para el estudio del acceso a los vehículos de transporte público (facilidad para entrar y salir de los vehículos) y de la accesibilidad al transporte público (facilidad para alcanzar el sistema). En el primer caso, los enfoques han derivado hacia el estudio de la capacidad de paraderos o estaciones y las subsecuentes demoras a usuarios. En el segundo, hacia la elección de ruta por parte de los peatones. Ambos enfoques han discurrido por sendas separadas. Sin embargo, las herramientas seleccionadas e integradas durante esta investigación han mostrado ser útiles tanto para el estudio de las interacciones en paraderos o estaciones, como para la evaluación de medidas que mejoren la accesibilidad al transporte público.

Los resultados de la aplicación de los métodos desarrollados indican que análisis integrados de la accesibilidad y acceso permitirían predecir y proveer mejoras del nivel de servicio del transporte público (tiempo de accesibilidad, espera y viaje; comodidad, seguridad y confiabilidad), más allá de la sola ganancia en una de sus componentes: el tiempo de viaje en el vehículo. En efecto, en el ejemplo de aplicación desarrollado en este trabajo, un paradero con rutas peatonales para acceder adecuadas y diseño físico de alto estándar (v.g. andén segregado, refugio amplio, iluminación suficiente, asientos cómodos, existencia de información, formalidad y uniformidad del diseño), podría aumentar su nivel de accesibilidad de manera significativa (30%). También, se esperaría que aspectos cualitativos del nivel de servicio mejoren, como la comodidad y seguridad durante la accesibilidad y espera. Asimismo, una operación apropiada del paradero (v.g. llegadas regulares, salidas no obstruidas, tiempos de embarque constantes y reducidos, moderadas tasas de ocupación de los buses) proveerá menores tiempos de espera a los pasajeros fuera del vehículo y menores tiempos de viaje a los pasajeros en el vehículo (por menores demoras de los buses). Igualmente se esperaría que aspectos cualitativos, como la comodidad y confiabilidad a los usuarios, se incrementen.

#### AGRADECIMIENTOS

La investigación reportada ha sido financiada por FONDECYT, Proyecto 1990879.

#### REFERENCIAS

CITRA (1998) **Análisis y proposición de políticas de inversión para favorecer a los peatones**. Informe final. Secretaría Ejecutiva, Comisión de Planificación de inversiones en Infraestructura de Transporte.

Fernández, R. (2000) Modelling of bus-stop operations. **Proceedings of the European Transport Conference 2000. Seminar J: Demand Management and Safety Systems**. 11-13 September, Cambridge, 187-200.

Fernández, R. y M. Salamanca (1999) Aspectos de diseño de paraderos de alto estándar. **Actas del IX Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**. 18-22 Octubre, Santiago, 419-429.

Fernández, R. (1993) An expert system for design and location of high-capacity bus-stops. **Traffic Engineering and Control** 34(11), 533-539.

Gardner, G., P.R. Cornwell y J.A. Cracknell (1991) **The performance of busway transit in developing cities**. Transport and Road Research Laboratory, Research Report RR329, Crowthorne.

Gibson, J., I. Baeza y L.G. Willumsen (1989) Bus-stops, congestion and congested bus-stops. **Traffic Engineering and Control**, 30(6), 291-302.

Gibson, J. y R. Fernández (1995) Recomendaciones para el diseño de paraderos de buses de alta capacidad. **Apuntes de Ingeniería** 18(1), 35-50. Ediciones universidad Católica de Chile, Santiago.

Lobo, A.X. (1997) Automatic vehicle location technology: Application for buses. PhD Thesis. University of London.

Masamutsu M. y H. Tsukaguchi. (1987) A new method for evaluation of level of service in pedestrian facilities. **Transportation Research** 21A(3), 223-234.

Pietroantonio (1997) Generalizaçao de modelos estilizados para localizaçao de pontos de parada. **Actas VIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**. 10-14 Noviembre, Santiago, 433-452.

Seneviratne P.N. y J.F. Morrall (1984a) Analysis of factors affecting the choice of route of pedestrians. **Transportation Planning and Technology**, 10 (1), 16-18.

Seneviratne P.N. y J.F. Morrall (1984b) Level of service on pedestrian facilities, **Transportation Quarterly**, January.

St Jacques, K. and H. Levinson (1997). **Operational Analysis of Bus Lanes on Arterials**. Transportation Research Board, TCRP Report 26, National Research Council, Washington D.C.

Szasz, P.A., L de C. Montana y E.O. Ferreira (1978) **COMONOR: Ordinated bus Convoy**. Technical Paper 9, Companhia de Engenharia de Trafego, Sao Pablo.

TRB (1985) **Highway Capacity Manual**. Transportation Research Board, Special Report 209, National Research Council, Washington DC

Tyler, N.A. (1992) **High capacity bus systems: A design methodology using artificial intelligence**. PhD Thesis, University of London.

Tyler N.A. (1999) Measuring accesibility to public transport: Concepts. Working Paper, University of London Centre for Transport Studies, Londres.

Tyler, N.A. (1996) On mobility. Working Paper, University of London Centre for Transport Studies, Londres.

Wetherall, R. (1997) What we need to know about walking. **Traffic Engineering Control** 38(7/8), 385-387.