

## IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE DISMINUCIÓN DE DEMORAS EN APARCAMIENTOS

Félix Andrés Caicedo Murillo  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Ave. Brasil 2141. Valparaíso, Chile. Fax: +56 32 273 800.  
E-mail: felix.caicedo@upc.edu

### RESUMEN

Este artículo incide en la modelización de las operaciones y del comportamiento de los usuarios en aparcamientos urbanos subterráneos como son habituales en la ciudad de Barcelona. Los resultados obtenidos contribuyen a la definición de criterios de explotación de un aparcamiento subterráneo urbano, que redundan en posibles mejoras de la planificación y la gestión de estas estructuras.

Todo conductor que llega al aparcamiento se encuentra con dos situaciones excluyentes: existen o no existen plazas disponibles; esta última lo obliga a esperar cierto tiempo para acceder, que depende única y exclusivamente del próximo usuario que salga de la instalación de aparcamiento. Cuando se forma una cola determinista y se tienen vehículos que desean entrar en un aparcamiento con entrada única y disciplina *First Come First Served*, la continuidad del servicio la determina el estado libre/completo del aparcamiento; el tiempo de servicio es el tiempo que tarda cada vehículo en ser atendido razón por la cual en periodos punta los usuarios experimentan demora y molestias debidas a la espera.

Este artículo contempla el vínculo entre el comportamiento y la estructura de cobro planteando una hipótesis en la que los usuarios realizan adiciones a su estadía cuando el cobro se realiza mediante redondeos de tiempo; al disminuirse la probabilidad de realizar la adición la espera media de cada usuario y la demora total disminuyen.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hasta mediados del 2004 en la mitad de las plazas municipales de aparcamiento existentes en Barcelona (cincuenta mil) se cobraba por el servicio de aparcamiento según la duración de la estadía de forma fraccionada cada cinco minutos. La voluntad del ayuntamiento es que todas las empresas privadas que explotan aparcamientos en la ciudad cobren por el servicio de esta forma. Con el objetivo de impulsar esta iniciativa se prevé compensar a los operadores privados con prolongaciones de la concesión de la licencia municipal que les permite explotar los aparcamientos públicos. Esta forma de tarificar será un requisito indispensable para la renovación de las concesiones.

En España es actual y creciente la preocupación de los organismos encargados de velar por los consumidores con respecto a la estructura y el cobro por el servicio de aparcamientos (Instituto Nacional de Consumo, 2003); ellos han puesto de manifiesto un deseo de los usuarios de aparcamientos que consiste en que el cobro, que actualmente se realiza en varios aparcamientos mediante redondeos de tiempo de una o media hora, se haga en intervalos de tiempo menores o por el tiempo real. Pareciera que en su reclamo no se tiene en consideración que en los centros de negocios, en zonas de comercio terciario o en zonas muy congestionadas en las grandes urbes, esta estructura de cobro, junto con sobrecargos en horas punta (Lan, 1986), es utilizada como elemento de disuasión de viajes en coche para reducir la congestión (Shoup, 2002; cita de Victoria Transport Policy Institute, 2003), sin causar perjuicio económico a los intereses económicos de los operadores de aparcamientos; por otro lado, la experiencia demuestra que solo las empresas que han sabido adaptarse a los requerimientos de sus clientes a medida que transcurre el tiempo sobreviven, siendo lo anterior una muestra práctica y a *grosso modo* de la ley de evolución de Charles Darwin.

El pleno conocimiento de un operador de aparcamientos del comportamiento de sus usuarios le permitiría adoptar una estructura de cobro en la cual se garantice la recaudación dada una nueva estructura de cobro. Las experiencias y conclusiones de la investigación realizada sobre comportamiento de los usuarios de aparcamientos subterráneos son consideradas a la hora de proponer una solución sensata a este dilema para ambas partes: operadores y usuarios.

## 2. TARIFICACIÓN Y COBRO POR EL SERVICIO

Teniendo en cuenta que la cantidad destinada para el pago por el servicio de aparcamiento es de gran importancia, ya que para ciertos motivos de viaje (e.g.: recreación, compras y asuntos personales), los usuarios de un aparcamiento pueden ajustar la duración de su estadía dentro de un rango de respuesta a una estructura de cobro (Lan, 1986) estableciéndose, entonces, una relación entre la estructura de cobro y el comportamiento de los usuarios de aparcamientos, y que en algunas instalaciones de aparcamiento ubicadas en lugares donde son atraídos muchos viajeros ya se ha aprovechado al máximo el espacio para brindar una determinada capacidad estática de plazas, medidas especiales deben ser tomadas para aminorar las demoras experimentadas por los usuarios en la entrada del aparcamiento en periodos en los que los servidores de la entrada

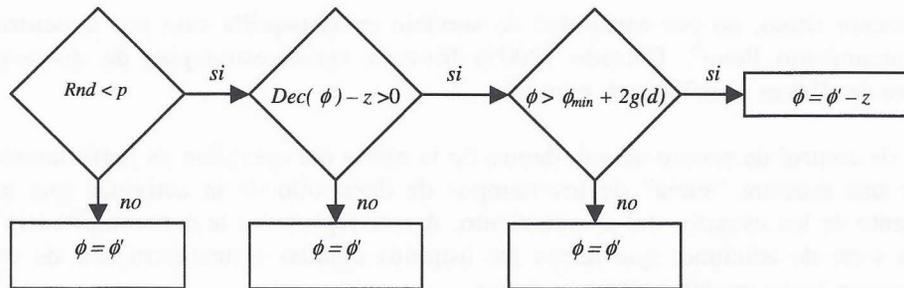
trabajan a menor ritmo, no por capacidad de servicio en la taquilla sino por la ocurrencia del evento "aparcamiento lleno". Caicedo (2005) formula varias estrategias de disminución de demoras, una de ellas es el cobro por minutos.

Un sistema de control de acceso actual, dentro de la oferta del operador, es perfectamente capaz de registrar una muestra "sucia" de los tiempos de desarrollo de la actividad que motivó el desplazamiento de los usuarios del aparcamiento. A este registro se le denomina "sucio" porque incluye una serie de adiciones que hacen los usuarios debidas a una estructura de cobro que redondea tiempos hacia un valor entero superior.

Estas adiciones se dan cada vez que un usuario que controla cómo transcurre su tiempo mientras desarrolla una actividad, junto con el que deberá invertir para llegar a la taquilla de salida desde un lugar remoto, obtiene un probable excedente inferior a la diferencia entre el ancho del intervalo de redondeo menos una adición en tiempo estimada para realizar cualquier otra actividad, justificada por el hecho de que su realización (o no realización) igualmente causa el mismo cobro por el servicio de aparcamiento. Asimismo, si el excedente sumado a la adición sobrepasa el siguiente intervalo de redondeo el usuario partirá inmediatamente a buscar su coche. Esta adición puede estar comprendida entre 10 y 20 minutos, tiempo suficiente para tomarse un café, leer un artículo o dar un paseo. Sin embargo, al mismo tiempo que es tomada la decisión de adicionar, en el periodo punta algunos usuarios estarán haciendo cola en la entrada del aparcamiento en la espera de que una plaza esté disponible.

Un usuario adicionará a su estadía un tiempo,  $z$ , siempre y cuando tenga oportunidad de hacerlo, suponiendo que este usuario controla su tiempo: el tiempo requerido para desarrollar el motivo de su viaje y el tiempo requerido para desplazarse al aparcamiento sumados darán como resultado un valor que puede descomponerse en una cantidad entera de intervalos de redondeo ( $I_w$ ) y una parte decimal,  $x$ , de la cual se presume que tiene una función de distribución. La disposición a realizar la adición,  $p$ , haría que algunos usuarios realicen una adición  $z$  siempre que sea posible (i.e.:  $p \cdot P(x < 1 - z/I_w)$ ). Disminuir el intervalo de redondeo es análogo a aumentar  $z$ , con lo que  $P(x < 1 - z/I_w)$  disminuye, aminorando la probabilidad de adicionar tiempo a la estadía cuando es posible hacerlo.

Una forma sencilla de "limpiar" el registro se logra determinando el radio de influencia para el aparcamiento de estudio dentro de la zona en la que se localiza y someterlo a una función  $g(d)$  que devuelve el tiempo requerido para comunicar el destino con el aparcamiento, para un tiempo sucio,  $\phi$ , que cumpla la desigualdad:



**Figura 1: Desigualdad de “limpieza” del registro**

donde,  $Rnd$  es un número aleatorio entre 0 y 1

$\phi$ , es la duración de la estadía “sucia”

$\phi'$ , es la duración de la estadía “limpia”

$\phi_{min}$ , es la estadía mínima en el aparcamiento

$Dec(\phi)$ , es el componente decimal de la estadía

$z$ , es la adición de tiempo a la estadía  $\phi'$

$d$ , es la distancia entre el aparcamiento y el destino, y

$g(d)$ , es el tiempo de desplazamiento entre el aparcamiento y el destino

El aumento de la magnitud de la distancia entre el aparcamiento y el destino hace que disminuya el nivel de servicio (ver Tabla 3. *Levels of service by walking distance*, en Victoria Transport Policy Institute, 2003).

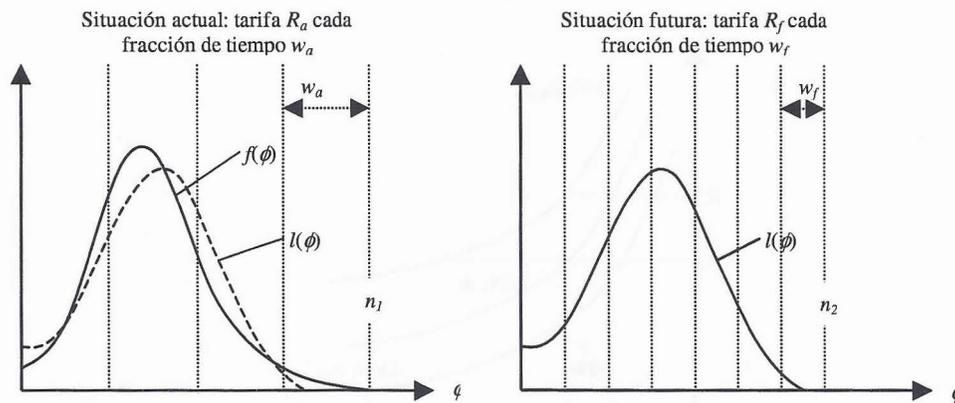
Si la intención es cobrar por minutos, la definición del nuevo ancho del intervalo de redondeo y del valor a cobrar requiere, de parte del operador de aparcamientos, un profundo conocimiento del comportamiento de los usuarios, particularmente la duración de las estadías en forma de función de distribución de probabilidad; también de la recaudación anual esperada debida a la estructura de cobro actual y su correspondiente cantidad de usuarios. Inicialmente hay que “limpiar” la función de densidad y calcular el factor  $\Psi$ :

$$\Psi = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} i \int_{i-1}^i f(\phi) d\phi}{\sum_{j=1}^{n_2} j \int_{j-1}^j l(\phi) d\phi} \quad (1)$$

donde,  $f(\phi)$ , es la función “sucia” de densidad de la duración de la estadía de los usuarios

$l(\phi)$ , es la densidad “limpia”, y

$n_1$  y  $n_2$ , la cantidad de intervalos dado un ancho de redondeo



**Figura 2: Superposición de funciones “sucias” y “limpia” de densidad de probabilidad de la estadía de los usuarios**

El factor  $\Psi$  multiplicado por el cobro marginal actual,  $R_a$ , permite calcular el que debe ser el cobro marginal futuro,  $R_f$ . Hensher y King (ver Tabla 2.3 en Hensher y King, 2001) identificaron la sensibilidad de los viajeros a cambios en la tasa de cobro por el servicio de aparcamiento. Lan (1986), por su parte, propone curvas de demanda agregada para situaciones en las que la duración de la estadía está predeterminada (ver Figura 3). Estas curvas deben utilizarse para determinar la cantidad de usuarios con los que se contará una vez definido el ancho del intervalo de redondeo, cantidad que será menor debido al hecho de que existen usuarios cuya estadía está predeterminada y cuyo deseo de pago no será suficiente para pagar por el servicio de aparcamiento con la nueva tarifa. Adicionalmente, para una función de densidad de probabilidad asimétrica  $\Psi$  debe ser mayor que 1.

Para el caso de proyectos en marcha cuya demanda es estable, se recomienda calcular el cobro marginal futuro con la siguiente expresión:

$$R_f = \frac{\Psi N R_a}{(N - N')} \quad (2)$$

donde,  $N$ , es la cantidad de usuarios

$N'$ , es la cantidad de usuarios que no están dispuestos a pagar la nueva tarifa

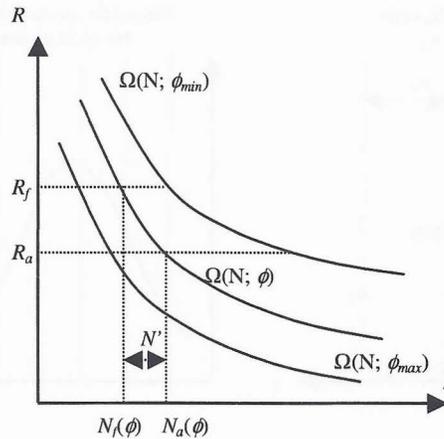


Figura 3: Curvas de demanda agregada en aparcamientos (la duración de la estadía está predeterminada). Fuente: Lan, 1986

### 3. SIMULACIÓN DEL ACCESO DE VEHÍCULOS AL APARCAMIENTO

Ante un problema típico de colas es necesario conocer cuál es el ritmo de llegadas y el tiempo de servicio. En la vida diaria existen constantes ejemplos de colas: personas que desean comprar entradas para ver un espectáculo, vehículos en un peaje, “bajar” un archivo por Internet, etc. Es importante tener una visión global del fenómeno, de cómo tratarlo y cómo, mediante la planificación y el conocimiento de la demanda, puede ser evitado.

#### 3.1 Vehículos en cola: algoritmo básico de servicio

La disciplina de cola contemplada en este apartado es FCFS (de la abreviación del inglés *First Come First Served*, que traduce que el primero que llega es el primero en ser servido); todo conductor que arriba al aparcamiento se encuentra con dos situaciones excluyentes: existen o no existen plazas disponibles; la última lo obliga a esperar un tiempo para poder acceder, este tiempo depende única y exclusivamente del próximo usuario que abandona la instalación. Es obvio que aún existiendo plazas libres los usuarios pueden experimentar demoras que no se deben al evento “aparcamiento lleno”, relacionadas con la capacidad de servicio (carriles, taquillas, etc.) de la entrada.

Una de las etapas definidas en esta investigación consistió en desarrollar un algoritmo capaz de procesar una cola debida al evento “aparcamiento lleno”. A este algoritmo se le exigió tener la capacidad de contemplar la llegada de los usuarios a un aparcamiento, la acumulación de vehículos en la entrada, la estancia de los usuarios dentro de la instalación y su posterior salida. Adicionalmente el algoritmo debía tener en cuenta la capacidad de servicio en la entrada, la

capacidad estática del aparcamiento y simular el sistema de control de accesos para determinar el estado (libre/completo) de la instalación.

La sencillez de este algoritmo permitió realizar su programación bajo la forma de un macro que se ejecuta en una hoja de cálculo. En términos generales se idealiza una instalación de aparcamiento y el comportamiento de los usuarios.

Dado que la hoja de cálculo se actualiza constantemente el macro determina para cada iteración el estado del aparcamiento (libre/completo) y revisa cronológicamente cada una de las llegadas de los usuarios. Cuando un conductor llega al aparcamiento y no hay plazas libres es necesario saber cuál es el usuario cuya salida de la instalación es la más próxima. En caso de que el conductor arribe al aparcamiento y haya plazas libres será necesario saber qué ha ocurrido con la llegada anterior, es decir si ya ha sido procesada (y por lo tanto se le permite entrar), o si actualmente está en proceso y es necesario esperar para acceder a la instalación.

### 3.2 Realización de una adición a la estadía

Lan (1986) y Caicedo (2005) hacen referencia a la existencia de un vínculo entre el comportamiento y la estructura de cobro; en esta sección se hace énfasis en el vínculo existente entre el comportamiento y duración de la estadía, dado que los usuarios de un aparcamiento pueden realizar adiciones a su estadía cuando el cobro se realiza mediante intervalos de tiempo de una o de media hora.

En función de  $p$  (disposición a realizar una adición si es posible), la probabilidad de una realización para efectos de las próximas simulaciones se describe de la siguiente forma:

$$Y = \{y_1, y_2\}$$

$$P[Y = y_1 | I_w, p, z, x] = p \cdot P\left(x \leq 1 - \frac{z}{I_w}\right) = p \cdot F\left(1 - \frac{z}{I_w}\right) \quad (3)$$

$$P[Y = y_2 | I_w, p, z, x] = 1 - P[Y = y_1 | I_w, p, z, x]$$

donde,  $y_1$ , es el evento "realizar adición  $z$ "

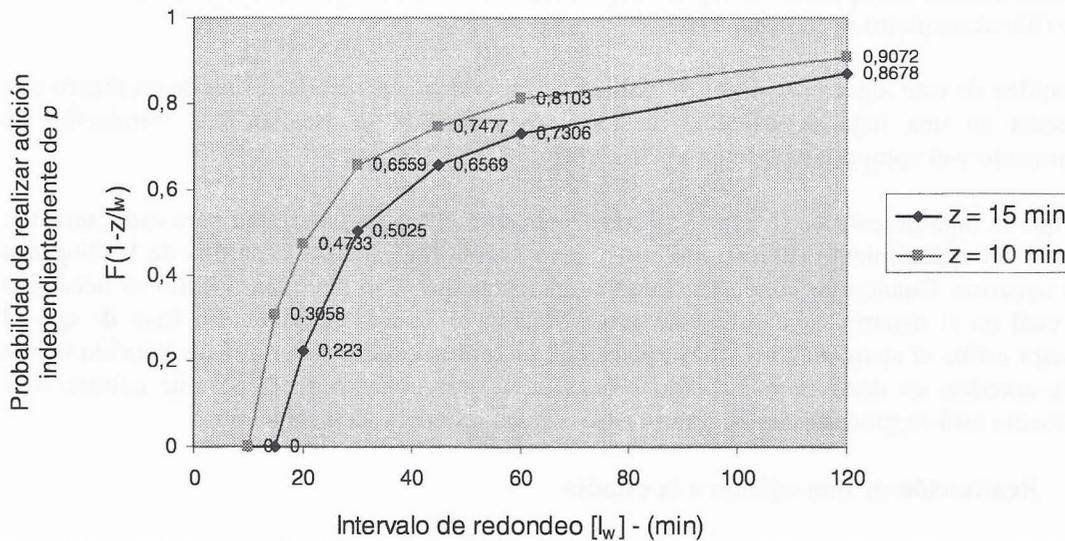
$y_2$ , el evento "no realizar adición  $z$ "

$I_w$ , es el ancho del intervalo de redondeo

$z$ , es la adición a la estadía, y

$x$ , es el residuo decimal de dividir la duración de la estadía en intervalos  $I_w$

La probabilidad de realizar una adición varía, entonces, con la estructura de cobro al disminuir el ancho del intervalo de redondeo  $I_w$  (como se ve en la Figura 4), para adiciones de 10 y 15 minutos indiferentemente de la disposición de los conductores a realizar esta adición ( $p$ ).



**Figura 4: Variación de la probabilidad de realizar una adición  $z$  debido a  $I_w$  independientemente de  $p$**

Los usuarios del aparcamiento idealizado (una aproximación geométrica de un aparcamiento observado por Caicedo, 2005), son capaces de calcular el egreso debido al cobro por el servicio de aparcamiento. Una adición,  $z$ , se realizará siempre y cuando el valor a pagar por el servicio no aumente. Con este criterio los usuarios decidirán si adicionan 15 minutos si es posible (i.e.: la suma de  $z$  con el tiempo requerido para realizar la actividad que motiva el viaje y el tiempo que a cada usuario se le asigna para comunicar su destino con el aparcamiento sugiere que el egreso no aumenta) o nada.  $I_w$  varía desde 60 hasta 15 minutos pasando por valores intermedios;  $p$  cubre varias posibilidades: 1 para el caso en el que todos los usuarios estarían dispuestos a hacer una adición en cuanto sea posible; nueve valores intermedios y equidistantes; y 0 cuando ninguno de ellos tiene intención de adicionar. Entre las 10:30 y las 20:37, 690 usuarios arribarán a la entrada del aparcamiento. 138 usuarios permanecen dentro del aparcamiento durante toda la simulación y 32 salen cuando se cumple la duración de su estadía.

#### 4. RESULTADOS

Una distribución razonable de la distancia ( $d$ ), entre el aparcamiento y el destino debe ser decreciente y truncada. Para la realización de las siguientes simulaciones se supone que los usuarios del aparcamiento recorren distancias radiales cuya distribución es triangular ( $f(d)=3,3 \times 10^{-3} - 5,5 \times 10^{-6}d$ ), es decir, ningún usuario camina más de 600 metros para desplazarse entre el aparcamiento y su destino.

Inicialmente se realizan varias simulaciones que muestran cómo varía la cantidad de usuarios en cola y la demora para diferentes porcentajes de usuarios que habrían realizado adiciones. Las duraciones de estadía “limpias” obtenidas bajo las condiciones establecidas de capacidad estática de plazas del aparcamiento y del proceso de llegada (según datos facilitados por el operador del aparcamiento) generan el comportamiento presentado bajo la columna “Simulación 1” en la Tabla 1.

**Tabla 1: Ocupación de plazas, espera y demora variando el porcentaje de usuarios que adicionan  $z$  horas a la duración de su estadía. (UQA: porcentaje de usuarios)**

UQA	Simulación 1			Simulación 2			Simulación 3			Simulación 4		
	Veh. Iniciales		Espera media (min)									
	D (veh-min)	N (veh)		D (veh-min)	N (veh)		D (veh-min)	N (veh)		D (veh-min)	N (veh)	
0%	17,6	26	0,68	260,02	93	2,80	976,03	209	4,67	2.356,3	249	9,46
10%	5,05	8	0,63	145,63	81	1,80	763,8	201	3,80	1.959,8	239	8,20
20%	0	0	0,00	57,88	49	1,18	540,2	160	3,38	1.706	246	6,93
30%	0	0	0,00	62,35	48	1,30	395,28	115	3,44	1.240	221	5,61
40%	0	0	0,00	0,05	1	0,05	119,88	77	1,56	907	220	4,12
50%	0	0	0,00	4,13	8	0,52	99,92	61	1,64	824	219	3,76
60%	0	0	0,00	0	0	0,00	23,48	35	0,67	403,8	153	2,64
70%	0	0	0,00	0	0	0,00	24,56	23	1,07	314,4	113	2,78
80%	0	0	0,00	0	0	0,00	1,63	5	0,33	218,33	112	1,95
90%	0	0	0,00	0	0	0,00	1,02	3	0,34	104,36	64	1,63
100%	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	36,35	27	1,35

En la Tabla 1 también se presentan los resultados obtenidos en la realización de tres simulaciones adicionales, en las que varía la cantidad de vehículos dentro del aparcamiento al iniciar la simulación. La espera media que resulta en las simulaciones 1 y 4 es muy diferente, cuando para su realización se tuvo en consideración el mismo proceso de llegada y la capacidad estática de plazas. Si el abandono de usuarios es justificado y posible y si la espera máxima depende del motivo del viaje y de la duración de la estadía habría abandono de usuarios de corta estadía en la simulación 4, por lo tanto la recaudación diaria en la simulación 1 será mayor.

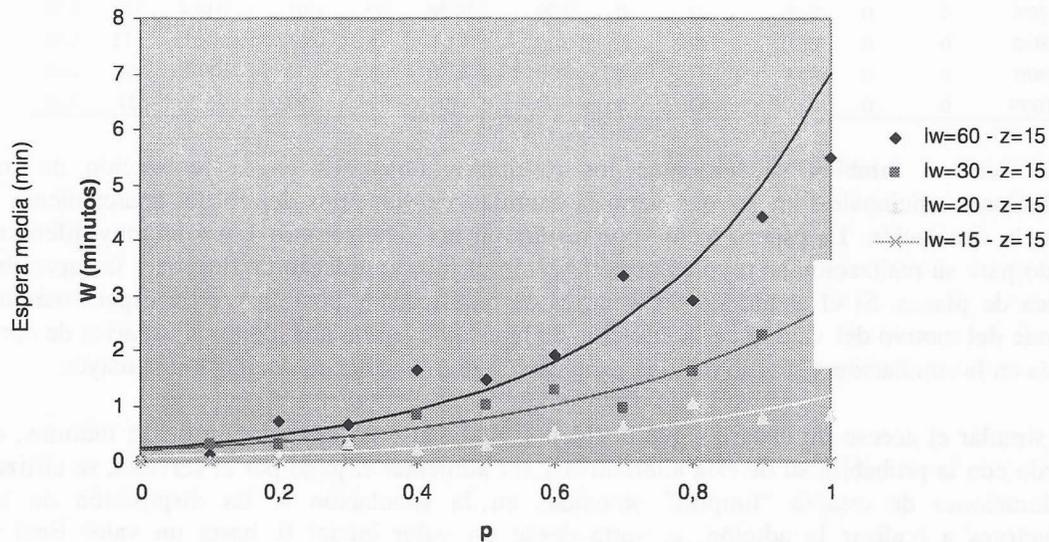
Para simular el acceso de usuarios que deciden si realizan o no una adición de 15 minutos, de acuerdo con la probabilidad de esta alternativa y sin aumentar el pago por el servicio, se utilizan las duraciones de estadía “limpias” obtenidas en la simulación 4. La disposición de los conductores a realizar la adición,  $p$ , varía desde un valor inicial 0, hasta un valor final 1, considerando 9 valores intermedios equidistantes.

Los resultados se presentan de forma gráfica en las Figuras 5 y 6, y en la Tabla 2. De esta nueva simulación puede interpretarse, por ejemplo, que: si 4 de cada 10 usuarios del aparcamiento realizan una adición de 15 minutos cuando el intervalo de redondeo de 60 minutos se los permite (dado que el pago por servicio es el mismo saliendo ahora o 15 minutos más tarde), 48 usuarios experimentan esperas promedio de 1,63 minutos. Al anular la posibilidad de realizar la adición

haciendo  $I_w$  igual a 15 minutos ningún usuario experimenta molestias debidas a esperas propias del evento “aparcamiento lleno”.

**Tabla 2: Demora y espera promedio para diferentes estructuras de cobro de tarifa**

$p$	$I_w = 60$ min.			$I_w = 30$ min.			$I_w = 20$ min.			$I_w = 15$ min.		
	D (veh-min)	N (veh)	Espera media (min)	D (veh-min)	N (veh)	Espera media (min)	D (veh-min)	N (veh)	Espera media (min)	D (veh-min)	N (veh)	Espera media (min)
1	1.125,45	205	5,49	296,39	107	2,77	31,45	37	0,85	0	0	-
0,9	824,67	187	4,41	212,44	94	2,26	21,56	28	0,77	0	0	-
0,8	442,17	153	2,89	141,68	88	1,61	25,75	25	1,03	0	0	-
0,7	469,53	141	3,33	42,24	44	0,96	6,2	10	0,62	0	0	-
0,6	154,71	81	1,91	42,24	33	1,28	12,42	23	0,54	0	0	-
0,5	116,13	79	1,47	34,68	34	1,02	0,62	2	0,31	0	0	-
0,4	78,24	48	1,63	14,11	17	0,83	0,66	3	0,22	0	0	-
0,3	15,41	23	0,67	1,12	4	0,28	2,04	6	0,34	0	0	-
0,2	23,76	33	0,72	0,62	2	0,31	0,08	1	0,08	0	0	-
0,1	0,26	2	0,13	0,62	2	0,31	0	0	0	0	0	-
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-



**Figura 5: Variación de la espera promedio debida a la estructura de cobro de tarifa**

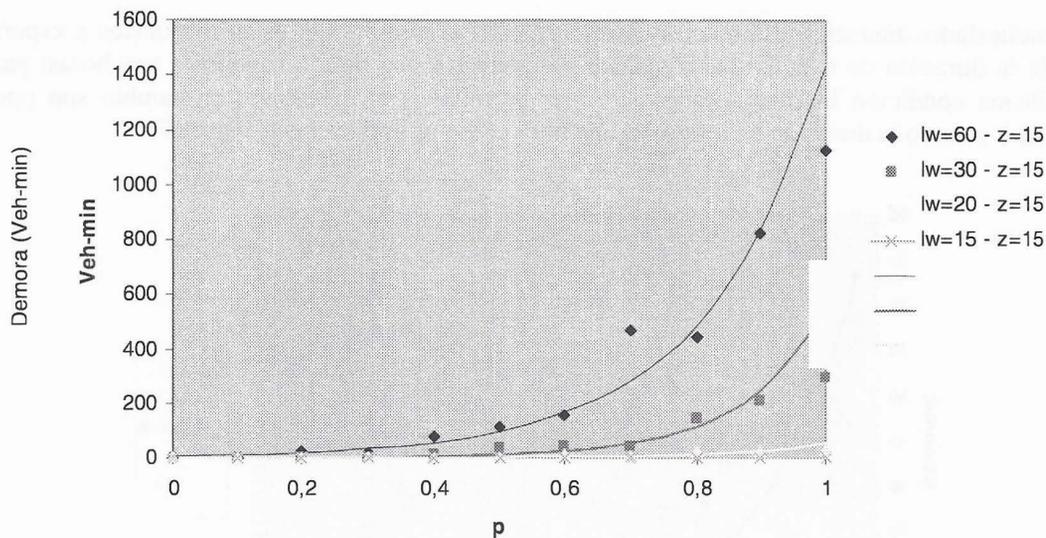


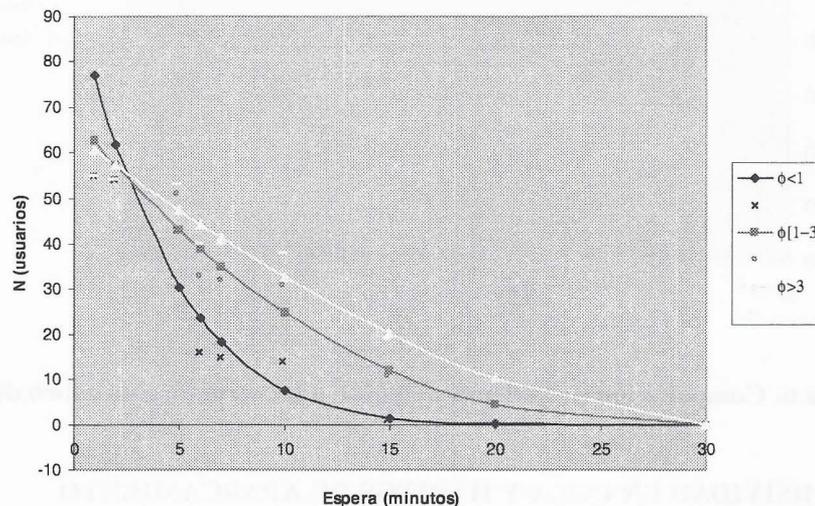
Figura 6: Comparación de la demora debido a la estructura de cobro de tarifa

## 5. PERMISIVIDAD EN COLA Y HÁBITOS DE APARCAMIENTO

Con la intención de conocer los hábitos de los usuarios de un aparcamiento, y también de conocer cuáles son las variables tenidas en cuenta en el momento de escoger una planta para aparcar o el tiempo máximo que están dispuestos a esperar haciendo fila en la entrada antes de abandonar la cola (en este caso teniendo en consideración la duración de la actividad que van a realizar), se llevó a cabo una encuesta anónima a conductores habituales y usuarios de aparcamientos, entre ellos estudiantes de carrera, doctorandos y profesores del campus UPC-Nord, así como a otros profesionales y estudiantes fuera del ámbito universitario (Caicedo, 2005). Un aparcamiento subterráneo urbano recibe una media de 1.800 usuarios por día, y la muestra de la población encuestada la conforman 55 personas (3,05%), de los cuales un 44% son mujeres y el 56% de hombres.

Independientemente de la duración de la actividad que realizarán, ninguno de los encuestados está dispuesto a esperar más de quince minutos en la fila para entrar a un aparcamiento. En el escenario planteado en la encuesta se informa a los participantes de la existencia de otra instalación de aparcamiento con plazas libres a 5 minutos, con el objetivo de obtener respuestas que reflejen su nivel de permisividad cuando no están obligados a aparcar en una instalación por ser la única en la zona; en la vida real un usuario de aparcamiento tiene idea del tiempo de espera antes de experimentarlo y de la ubicación de otros aparcamientos, de manera que puede tomar dicha decisión. Otra de las razones para presentar a los usuarios una alternativa similar es el deseo de no establecer diferencias ni jerarquizar el aparcamiento fuera de calzada con el aparcamiento en calzada, el uso del transporte público o no realizar el viaje en coche.

Los encuestados muestran diferencias claras respecto al tiempo que están dispuestos a esperar cuando la duración de la actividad a realizar es inferior a una hora o superior a tres horas: para esta última condición los encuestados son más permisivos en la espera, en cambio son poco tolerantes cuando la duración es inferior a una hora como se aprecia en la Figura 7.



**Figura 7: Coste Vs. demanda para la espera en la entrada del aparcamiento**

## 6. SÍNTESIS

Este artículo incide en la modelización de las operaciones y del comportamiento de los usuarios en aparcamientos subterráneos urbanos como son habituales en la ciudad de Barcelona. Los resultados obtenidos contribuyen a la definición de criterios de explotación de este tipo de aparcamientos, que redundan en posibles mejoras a la planificación y la gestión de estas estructuras.

Cuando se forma una cola determinista y se tienen vehículos que desean entrar en un aparcamiento con entrada única y disciplina FCFS, la continuidad del servicio la determina el estado libre/completo del aparcamiento; el tiempo de servicio es el tiempo que tarda cada vehículo en ser atendido razón por la cual en periodos punta los usuarios experimentan demora y molestias debidas a la espera.

Este artículo hace evidente el vínculo entre el comportamiento y la estructura de cobro planteando una hipótesis en la que los usuarios realizan adiciones a su estadía cuando el cobro se realiza mediante redondeos de tiempo; al disminuirse la probabilidad de realizar la adición la

espera media de los usuarios y la demora total disminuyen, convirtiendo esta propuesta en una estrategia de disminución de demoras.

En las Figuras 5 y 6 se observa una enorme concavidad en las funciones de regresión de la espera media y de la demora total de los usuarios del aparcamiento. Para valores de  $p$  inferiores a 0,6 las demoras son considerablemente bajas, incluso para los intervalos de cobro más anchos, de lo cual se concluye que la efectividad de esta estrategia es mayor para valores de  $p$  altos y, cómo no, que la estrategia de disminuir el ancho del intervalo de cobro no es la única solución viable para reducir la demora.

Queda abierto el camino para la formulación y evaluación de otras estrategias (e.g.: la redistribución de usuarios hacia horarios menos conflictivos, determinar la utilidad de conocer el tiempo medio de acceso a cada planta, etc.); finalmente, debe dársele continuidad a la investigación sobre las expectativas de los usuarios y sus hábitos de aparcamiento para realizar simulaciones en las que se determine el riesgo de la disminución de la recaudación diaria debido a la probabilidad de abandono de usuarios.

## AGRADECIMIENTOS

A la Cátedra UPC-abertis de transporte y a los aparcamientos SABA.

## REFERENCIAS

Caicedo, F. (2005) Modelización de las operaciones y del comportamiento de usuarios de aparcamientos subterráneos urbanos. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.

Hensher, D. y J. King (2001) Parking demand and responsiveness to supply, pricing and location in the Sydney Central Business District. **Transportation Research** 35A,177-196. ISSN: 09658564.

Instituto Nacional del Consumo (2003) Consumo presenta ante los Tribunales la demanda contra la práctica de fijar el precio “por hora o fracción” en los aparcamientos públicos. Nota de prensa 09/10/03. <http://www.consumo-inc.es>.

Lan, L. (1986) Design and Analysis of Parking Pricing Schemes at Urban Traffic Centers. PhD Thesis. Dissertation Series UCB-ITS-DS-86-2. ISSN 0192 4109.

Victoria Transport Policy Institute (2003) Parking Evaluation: Evaluating Parking Problems, Solutions, Costs, and Benefits. Online TDM Encyclopedia. <http://www.vtpi.org>