

Optimización de Operaciones en Aparcamientos y Aplicaciones en el Manejo de la Información sobre la Disponibilidad

Félix Caicedo
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Av. Brasil 2147, Valparaíso (Chile) fax. +56 32-2273744
felix.caicedo@ucv.cl

RESUMEN

Los sistemas de control de acceso y recaudación, PARC, en los aparcamientos más modernos cuentan con sensores que detectan la presencia de vehículos en cada plaza del aparcamiento, que además emiten una luz roja para indicar que la plaza está ocupada o bien una luz verde para indicar que una plaza está libre. Estos sensores envían información al sistema, la cual, una vez interpretada se presenta a los conductores en la entrada del aparcamiento en forma desagregada. Pensar en una adaptación rápida de este tipo de sistemas en el aparcamiento de un centro comercial constituye un ejercicio interesante desde el punto de vista de la infraestructura, los equipos adicionales, y por supuesto, desde un punto de vista operacional.

Los sistemas PARC más comunes en las supertiendas o los centros comerciales, según una clasificación discutida en este artículo, son en el mejor de los casos de nivel 2; cuentan con un dispensador de tiquetes automático en la entrada y una barrera de control de acceso. Sin más información que la presentada en el VMS, indicando el estado del aparcamiento (“Completo” o “Libre”), los conductores toman el tiquete e inician el proceso de búsqueda de un espacio libre. Justo antes de salir, se acercan a un cajero automático o a una cabina para pagar por el servicio de aparcamiento. En este tipo de sistema, conociendo la capacidad estática del aparcamiento, se actualiza la información presentada a los usuarios en la entrada restando o sumando los vehículos detectados y puede establecerse el momento en que no se permiten más ingresos.

Varios objetivos soportan la realización de este artículo, entre ellos, la discusión de un modelo de comportamiento, su replanteamiento y la modificación una subrutina original que permite simular nuevos escenarios en los que se ponen a prueba la configuración actual del sistema PARC utilizado en centros comerciales, y una propuesta de modificación del sistema basada en una experiencia realizada en Tama New Town (Japón). En función de los datos facilitados por un operador de aparcamientos, y de acuerdo con las simulaciones realizadas, se concluye que los sistemas PARC de nivel 4 mantienen un estándar alto de calidad de servicio: la opción de preparar información “falsa” indicando que una planta está completa cuando aún le quedan 5 o 10 espacios libres, para incidir en las decisiones de los usuarios, tiene pocas repercusiones prácticas. Sin embargo, la zonificación propuesta en esta investigación supone una reducción del tiempo de búsqueda cercana al 17%, para un sistema de nivel 2.

1. INTRODUCCIÓN

A menudo los operadores de sistemas de guiado e información de aparcamientos deben determinar con precisión el tipo de información que será presentada a los conductores, con relación a la disponibilidad de plazas en los periodos de alta demanda. En una moderna urbe típica, los VMS están localizados en las calles, a cierta distancia de los aparcamientos y los operadores deben determinar qué mensaje emitir antes que el aparcamiento colme su capacidad.

En el artículo *Optimisation of parking guidance and information systems display configurations*, Thompson et al. (2001) describen un modelo de comportamiento sobre la elección de aparcamiento, incorporando la percepción de los conductores de los tiempos de espera debidos a la información presentada en un VMS de un típico sistemas de guiado e información de aparcamiento (PGI, abreviación de *Parking Guidance Information*); los autores indican también que el tiempo de acceso, la espera, el pago y el tiempo caminando son combinados con diferentes pesos de importancia para estimar la utilidad de cada aparcamiento; un modelo que opera bajo ciertas condiciones especiales:

- No hay aparcamiento ilegal.
- Los conductores que observan el VMS creen que la información es exacta.
- Una vez escogido el aparcamiento los conductores no cambian su decisión.
- Finalmente, los conductores pueden o no prestarle atención a la información del VMS.

El objetivo era determinar en qué nivel de ocupación es apropiado indicar, a través del PGI, que el aparcamiento está lleno (aún cuando el 5-10% de las plazas están libres), para minimizar, por ejemplo, los kilómetros de viaje de los vehículos o la longitud de las colas en los aparcamientos. Estos procedimientos fueron aplicados a un sistema de PGI existente operando en Tama New Town, cerca de Tokio, prediciendo grandes reducciones en longitud de cola y kilómetros recorridos que se traducen en reducciones de la congestión y beneficios ambientales.

Investigaciones como la realizada por Thompson et al. (2001) pueden ser aplicadas en otro tipo de ámbitos, como lo es el de los centros comerciales –uno de los objetivos del presente artículo. Recientemente, Caicedo (2005a) estudió el comportamiento de los conductores dentro de un aparcamiento subterráneo -otro aspecto del aparcamiento, en este caso, fuera de la calzada-, concluyendo, entre otros, que en un aparcamiento de 600 plazas y cuatro niveles de subterráneo, el hecho de ubicar un panel de información variable en la entrada del aparcamiento, que indique la cantidad de plazas libres en cada nivel puede reducir el tiempo de búsqueda a la mitad.

Para ofrecer este tipo de información a los conductores se requiere, no solo de un sistema de control de acceso y

recaudación (también conocido como PARC, abreviación de *Parking Access and Revenue Control System*) que determine la cantidad de espacios libres mediante la diferencia entre la capacidad estática, los vehículos que ingresan y los que salen; hace falta saber cuántos autos están estacionados en cada planta, con lo cual se requieren como mínimo dos lazos de detección (entrada y salida) en cada nivel del garaje, trabajando en red.

Los sistemas PARC más modernos (como aquel que describen Caicedo et al. 2006) cuentan con sensores que detectan la presencia de vehículos en cada plaza del aparcamiento, que además emiten una luz roja para indicar que la plaza está ocupada o bien una luz verde para indicar que una plaza está libre. Estos sensores, actualizados cada dos minutos, envían información al sistema, la cual, una vez interpretada se presenta a los conductores en la entrada del aparcamiento en forma desagregada.

Pensar en una adaptación rápida de este tipo de sistemas en el aparcamiento de un centro comercial puede ser un ejercicio entretenido desde el punto de vista de la infraestructura y equipos adicionales, y por supuesto, desde un punto de vista operacional. Los sistemas PARC más comunes (y de hecho los más modernos) en las supertiendas o los centros comerciales, según la clasificación propuesta por Chrest et al. (2001), son de nivel 2; cuentan con un dispensador de tiquetes automático en la entrada y una barrera de control de acceso en la entrada. Los conductores toman el tiquete y justo antes de salir se acercan a un cajero automático o a una taquilla para pagar por el servicio de aparcamiento (cuando tiene cobro); conociendo la capacidad estática este sistema puede determinar el momento en que no se permiten más ingresos al aparcamiento.

$$\begin{aligned}
 P[X = 1 | q_1] &= P[X = 1] * (1 - F_1(q_1)) \\
 P[X = 2 | q_1, q_2] &= \{P[X = 2] + P[X = 1] * F_1(q_1)\} * (1 - F_2(q_2)) \\
 P[X = 3 | q_1, q_2, q_3] &= \{P[X = 3] + (P[X = 2] + P[X = 1] * F_1(q_1)) * F_2(q_2)\} * (1 - F_3(q_3)) \\
 P[X = 4 | q_1, q_2, q_3, q_4] &= P[X = 4] + \{P[X = 3] + (P[X = 2] + P[X = 1] * F_1(q_1)) * F_2(q_2)\} * F_3(q_3)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Sean m_1, \dots, m_k , la capacidad de plazas de cada planta

Sean N_1, \dots, N_k , la disponibilidad de plazas de cada planta

Sean q_1, \dots, q_k , la disponibilidad porcentual de plazas cada planta ($q_i = N_i/m_i$)

Sea $F_i(q_i)$, por ejemplo, una función acumulada Beta (a, b) tal que $a > 1$ y $0 < b < 1$

Sean $P[X=i]$ las probabilidades de escoger una planta (i) *a priori* en un aparcamiento subterráneo de cuatro plantas.

Donde, $P[X=i]$ son parámetros a por estimar, al igual que $F_i(q_i)$, en el caso de ser diferente para cada planta deben estimarse a_i y b_i para cada una. Se ha supuesto que existe una probabilidad de elección *a priori* para cada uno de los cuatro niveles del aparcamiento, susceptible de ser modificada por el hecho de tener información precisa; también se supone que existe un umbral de utilización, que una vez superado gatilla la transferencia de la predilección de una planta hacia las inferiores.

En el entorno en el cual se planteó este modelo, el ayuntamiento de Barcelona (España) tenía la intención de promover la utilización de tecnología en aparcamientos, que hiciera más amable la experiencia de los usuarios en las instalaciones concesionadas. En la gran mayoría de los casos, los concesionarios se verían obligados a cobrar por intervalos de 5 minutos (en cambio de cobrar por horas, ver (Caicedo, 2005b)); y a modernizar el sistema PARC. En muchos casos las intenciones del ayuntamiento parecían meros caprichos a los ojos de los operadores de los aparcamientos concesionados. Así pues, el objetivo de esa investigación era cuantificar los beneficios reales de proveer información precisa a los usuarios, y de igual manera, establecer posibles beneficios económicos para los operadores.

2. UN NUEVO ENFOQUE APLICADO

Caicedo et al. (2006) han demostrado que las decisiones que toman los conductores que poseen información sobre la disponibilidad de plazas son 45% más exitosas, en comparación con aquellos que deciden sin saber en qué lugar se encuentran los espacios libres en cada zona del aparcamiento. En el comportamiento descrito por los conductores, existen dos etapas en las que se toman decisiones diferentes a la hora de escoger una planta para aparcar: una *a priori* en un lugar remoto y otra dentro del aparcamiento cuando es conocida información de la disponibilidad de plazas de cada planta.

Estas preferencias *a priori* son generadas por las experiencias ocurridas en el aparcamiento: conflictos de circulación, robos, incidentes, etc., también el tiempo de acceso de cada planta, las condiciones de disponibilidad en las que se espera que esté el aparcamiento, y el tiempo que se invertirá en la búsqueda de una plaza; por otro lado, poca disponibilidad se relaciona con gran tiempo de búsqueda y viceversa, una de las razones por las cuales se describe el siguiente modelo de comportamiento para un aparcamiento de cuatro plantas:

Si bien este objetivo fue cumplido, el modelo planteado presenta los siguientes inconvenientes:

- La transferencia de la preferencia se hace en forma descendente.
- Solamente se considera como alternativa una planta con espacios libres.

Tal y como lo hicieron Lambe (1996), Hensher y King (2001) y Thompson et al (2001), la utilidad aleatoria de cada planta (U_i), según la teoría de la elección discreta, puede expresarse como una utilidad medible y determinista (V_i) y un error estocástico (ξ_i). La utilidad medible y determinista es función del tiempo que será invertido en aparcar y llegar a la superficie, de la disponibilidad de plazas y de antiguas experiencias (conflictos de circulación, robos o incidentes que afectan su tranquilidad), de la siguiente forma:

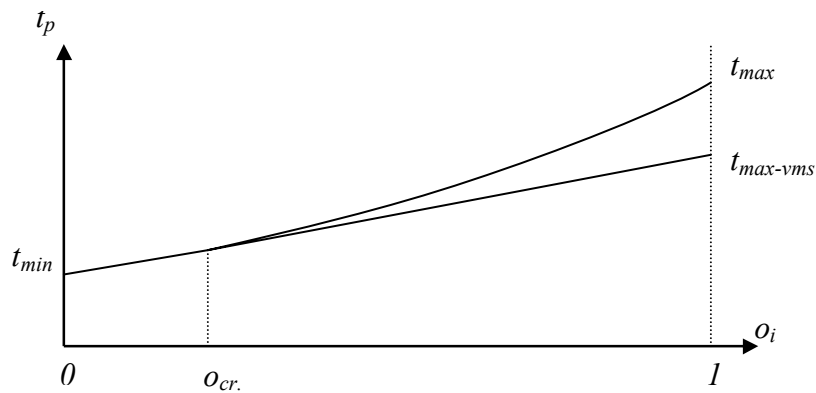
$$\begin{aligned}
 U_i &= V_i + \xi_i \\
 V_i &= \alpha_{0i} - \alpha_{1i} t_{Ai} - \alpha_{2i} t_{Pi} \\
 t_{Pi} &= f_i(o_i)
 \end{aligned} \tag{2}$$

donde: α_x son parámetros

t_{Ai} , es el tiempo medio de acceso desde la entrada a la superficie para cada planta

t_{Pi} , es el tiempo de búsqueda en la plaza i , que depende de la ocupación porcentual o_i . Ver Figura 1.

o_i , es la ocupación porcentual de plazas de una planta

FIGURA 1: Función de Coste t_{Pi}

El modelo de elección también puede describirse, de forma más sencilla, en términos de la información ofrecida a los usuarios del aparcamiento (plazas libres en determinada planta), así:

$$V_i = \gamma_{0i} - \gamma_{1i}t_{Ai} - \gamma_{2i}d_{Pi} \quad (3)$$

donde: d_{Pi} , es la cantidad de plazas libres en la planta i
 γ_x , son parámetros

Para ambos modelos (ecuaciones 2 y 3) pueden enumerarse las siguientes ventajas:

- Es posible describir las decisiones que toman usuarios, que aún sabiendo que no hay espacios libres en la planta preferida, se dirigen hacia ella y esperan, circulando por los pasillos, a que un usuario regrese y salga del aparcamiento con su vehículo.
- Son adecuados para probar la efectividad de una estrategia de operación, que a diferencia de las planteadas por (Caicedo, 2005a y Caicedo, 2005b), no busca reducir el tiempo de espera antes de ingresar al aparcamiento, sino, reducir el tiempo de búsqueda de una plaza para todos los usuarios –incluso aquellos que hacen caso omiso a las indicaciones de un VMS.

3. COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS

Para ilustrar el comportamiento de los usuarios de un aparcamiento con un moderno sistema PARC, Caicedo (2005a) idealizó una estructura cuya geometría tiene como referencia el aparcamiento observado (Catedral), en la cual los usuarios seleccionan una planta para aparcar según los modelos de comportamiento descritos en la sección anterior.

La continuación de esta línea de investigación estaba garantizada, puesto que la herramienta de simulación ya estaba construida; en códigos de Visual Basic, Caicedo idealizó una instalación tridimensional (ver en la Figura 2 los espirales de acceso en un solo sentido y pasillos en “U”) de cuatro plantas en la cual:

- Los usuarios ingresan al aparcamiento conociendo la disponibilidad de plazas en cada planta y seleccionan una para iniciar la búsqueda.
- Se escoge una plaza libre de acuerdo con un criterio: cercanía aun objetivo, seguridad, etc.
- Los vehículos en busca de una plaza se desplazan por cada paso de unidad de tiempo: unidad equivalente a recorrer a una velocidad determinada el ancho de una plaza del aparcamiento.
- Una vez finalizado el recorrido por la rampa que comunica las plantas de la instalación los usuarios conocen de nuevo la disponibilidad de plazas en cantidad y ubicación por medio del sistema de señalización “plaza-a-plaza”.
- Si la planta escogida para la búsqueda no tienen plazas disponibles los usuarios tienen la opción de recorrerla y elegir al final otra planta; también pueden continuar en la rampa y dirigirse hacia otra planta.
- El vehículo permanece estacionado mientras los usuarios del aparcamiento realizan la actividad que motiva el viaje, posteriormente vuelven para salir de la instalación.
- Se realiza un inventario periódico tanto de la cantidad de vehículos que ingresan a la instalación como de la disponibilidad por planta. Los vehículos que abandonan el aparcamiento son descontados, y si es el caso, se le permite la entrada a otros que esperan.

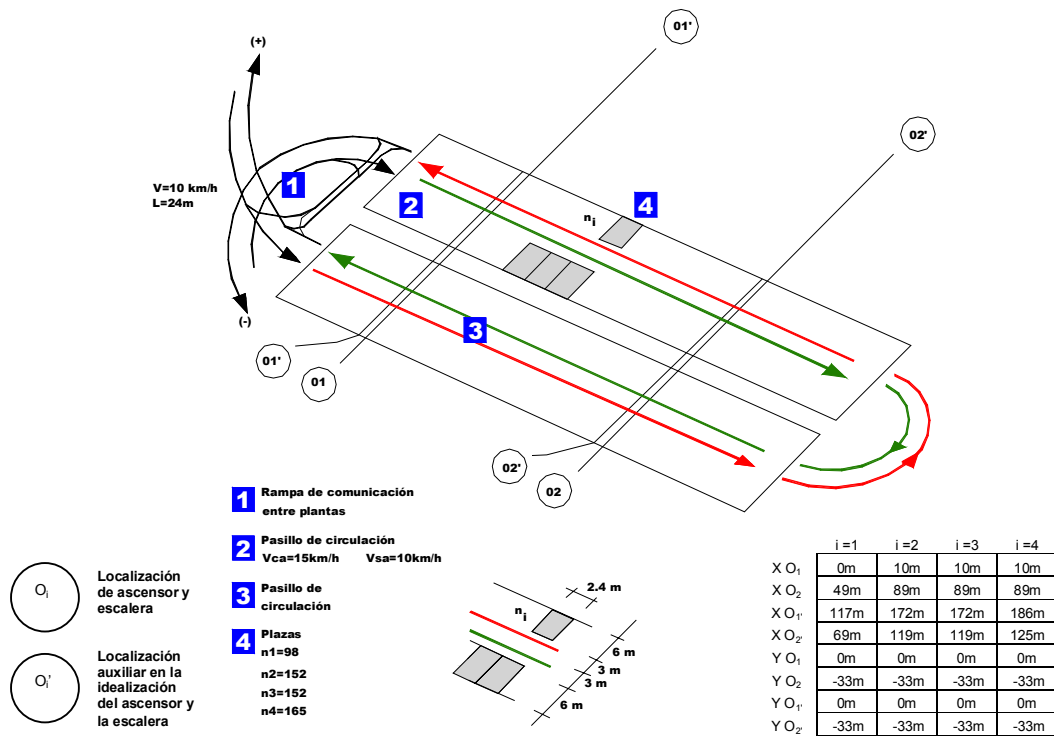


FIGURA 2: Geometría del Aparcamiento Idealizado
 Fuente (Caicedo, 2005a)

Posterior al planteamiento de los nuevos modelos de comportamiento, particularmente el descrito en la ecuación (2), se estimaron los parámetros de las funciones de costo por mínimos cuadrados, de acuerdo con los registros de ocupación facilitados por el operador del aparcamiento “Catedral” y la siguiente formulación:

$$t_p(\theta) = \eta [1 + \beta \theta^p] \tag{4}$$

donde, η , β y θ son parámetros

Los resultados de este proceso se presentan en las figuras 3, 4, 5 y 6. El lector notará que en las figuras 5 y 6 no se presenta una única función de costos; la razón se basa en la propia geometría del aparcamiento idealizado y en las preferencias de los usuarios: éstos prefieren las plazas libres más cercanas a los dos ascensores. Por otro lado, en las plantas 3 y 4, la demanda de plazas es considerablemente inferior a la de los niveles superiores (Caicedo, 2005a).

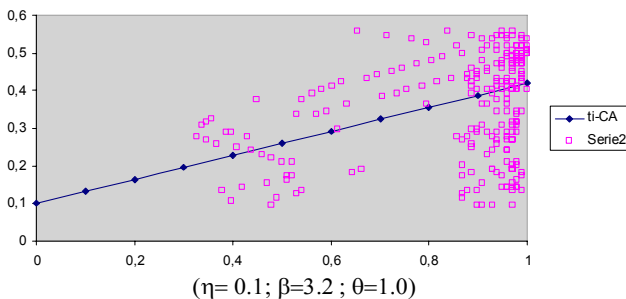


FIGURA 3: Función de Costo en Planta 1

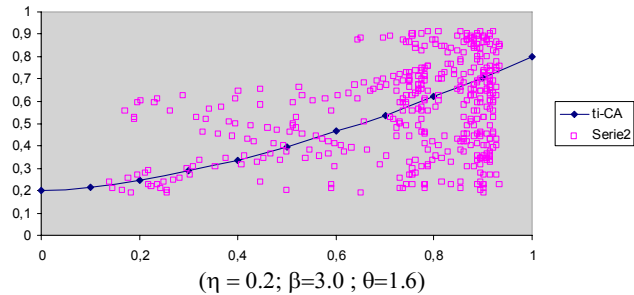


FIGURA 4: Función de Costo en Planta 2

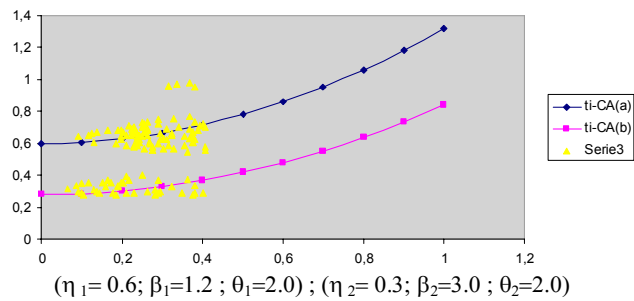


FIGURA 5: Función de Costo en Planta 3

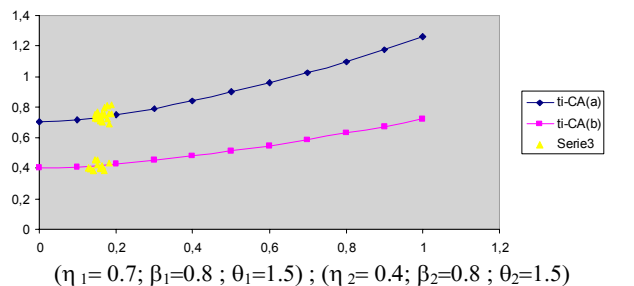


FIGURA 6: Función de Costo en Planta 4

Los parámetros de los modelos descritos por las ecuaciones (2) y (3) fueron estimados utilizando la aplicación DCM (Elköf y Weeks, 2005); DCM es la abreviación en inglés del *Discrete Choice Model*. El programa DCM v1.1 corre bajo la versión 3.2 Ox y es distribuido en conjunto con la interfaz gráfica OxPack. Definiendo un modelo CL (*conditional/multinomial logit*), los estimadores se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1: Estimación de Parámetros

Ecuación (2)		Ecuación (3)	
Parámetro	Estimador	Parámetro	Estimador
α_{1i}	-8,73511	γ_{1i}	0,0188163
α_{2i}	-60,2874	γ_{2i}	-1,21831
α_{01}	112,576	γ_{01}	5,15623
α_{02}	119,47	γ_{02}	4,4252
α_{03}	114,079	γ_{03}	-11,6852
α_{04}	0	γ_{04}	0

Habiendo estimado los parámetros de ambos modelos de comportamiento, era necesario escoger uno para realizar las simulaciones y poner a prueba la estrategia de reducción del tiempo de búsqueda descrita en la sección 1.

En este caso no se disponía de una muestra de validación. Se optó por seleccionar 280 elecciones del registro ($e=3\%$ $Z=1,96$ $p=0,9$) y calcular las proporciones esperadas por banda de probabilidad (metodología descrita en Ortúzar, 2000); ver Tablas 2 y 3. En consecuencia, aún cuando ambos modelos no cumplen la hipótesis de consistencia ($X^2_{fpr} < X^2_{0,95m-1}$ y debieran ser rechazados), es notorio que el segundo modelo de elección (en términos de la cantidad de plazas libres y la ubicación de éstas en cada planta del aparcamiento) es más efectivo a la hora de predecir el comportamiento de los usuarios del aparcamiento subterráneo de Catedral.

TABLA 2: Proporciones Esperadas por Banda de Probabilidad

		0-0,1		0,1-0,2		0,2-0,3		0,3-0,4		0,4-0,5		0,5-0,6		0,6-0,7		0,7-0,8		0,8-0,9		0,9-1	
		E1	O1	E2	O2	E3	O3	E4	O4	E5	O5	E6	O6	E7	O7	E8	O8	E9	O9	E10	O10
Modelo																					
"Tiempo de búsqueda y acceso"	1	0	0	6,6	15	10,8	20	12,6	15	12,6	11	44	21	31,9	14	0	0	0	0	0	0
Planta No.	2	0	0	0	0	0	0	17,2	19	36	51	15,4	14	23,4	14	32,3	19	37,4	25	0	0
	3	14	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	14	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Modelo																					
"Plaza y tiempo de acceso"	1	0	0	0	0	0	0	0	0	38,3	33	64,9	38	50,1	25	0	0	0	0	0	0
Planta No.	2	0	0	0	0	0	0	50,4	75	33,3	34	34,1	33	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	14	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	14	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLA 3: Comparación de Totales Esperados y Observados

		0-0,1		0,1-0,2		0,2-0,3		0,3-0,4		0,4-0,5		0,5-0,6		0,6-0,7		0,7-0,8		0,8-0,9		0,9-1	
		$\Sigma E1$	$\Sigma O1$	$\Sigma E2$	$\Sigma O2$	$\Sigma E3$	$\Sigma O3$	$\Sigma E4$	$\Sigma O4$	$\Sigma E5$	$\Sigma O5$	$\Sigma E6$	$\Sigma O6$	$\Sigma E7$	$\Sigma O7$	$\Sigma E8$	$\Sigma O8$	$\Sigma E9$	$\Sigma O9$	$\Sigma E10$	$\Sigma O10$
Modelo																					
"Tiempo de búsqueda y acceso"		28	42	6,6	15	10,8	20	29,8	34	48,6	62	59,4	35	55,3	28	32,3	19	37,4	25	0	0
$X^2_{fpr} = 63,0$		7		10,7		7,96		0,61		3,69		10		13,4		5,44		4,11			
Modelo																					
"Plaza y tiempo de acceso"		28	42	0	0	0	0	50,4	75	71,6	67	99	71	50,1	25	0	0	0	0	0	0
$X^2_{fpr} = 39,8$		7						12		0,29		7,92		12,5							

4. APLICACIÓN DEL MANEJO DE LA INFORMACIÓN EN DIVERSOS TIPOS DE APARCAMIENTOS

La metodología desarrollada a continuación contempló la modificación de la subrutina de selección de plantas de Caicedo (2005a) escrita para Visual Basic 6; ahora convertida en un macro que se ejecuta en MS Excel ® se incorporan las siguientes opciones:

- “Censurar” la información brindada por el sistema PARC nivel 4: en dos casos particulares, si el porcentaje de utilización de cada planta es superior al 90% y al 95% el panel de información variable indicará que no quedan plazas libres.

- En cualquier caso, cada una de las plantas de aparcamiento tendrá una probabilidad de ser seleccionada para iniciar la búsqueda de una plaza libre.

En un aparcamiento con sistema PARC nivel 2, la información que reciben los usuarios en la entrada es dicotoma (el aparcamiento está “completo” o tiene plazas libres); Caicedo (2005a) estimó la probabilidad *a priori* de elegir cualquiera de las plantas del aparcamiento “Catedral” en esta situación. Aprovechando esta instancia, en la que la subrutina original fue modificada para simular nuevos escenarios, se propone evaluar una nueva configuración para el sistema PARC típicamente utilizada en centros comerciales:

- Salvo contadas excepciones (como ocurre en el aparcamiento de la terminal “Nord” de buses interurbanos en Barcelona), un PARC nivel 2 funciona básicamente con un VMS ubicado en la entrada y sistemas de detección de vehículos a la entrada y la salida, que permiten que los sistemas de cobro y las barreras automáticas se activen (ver Figura 7).
- Sin embargo, la ubicación de nuevos sistemas de detección de vehículos en puntos intermedios de los módulos de aparcamiento (a manera de una zonificación interna) y una modificación del algoritmo de conteo de vehículos del programa principal del sistema PARC determinaría la disponibilidad de plazas en zonas específicas del de aparcamiento.
- No fue posible basarse en criterios o investigaciones enfocadas en la estimación de las repercusiones en las elecciones *a priori* cuando un usuario es informado de la escasez de plazas en una planta en particular, sin que la información sea tan precisa (e.g.: “Completo-Completo-Libre-Libre”, que sugiere buscar los espacios libres en las plantas 3 y 4) como la de un sistema PARC nivel 4; en contraparte, y con el solo objetivo de llevar a cabo la evaluación de un nuevo escenario, se supone una reducción de la predilección *a priori* del 50%.

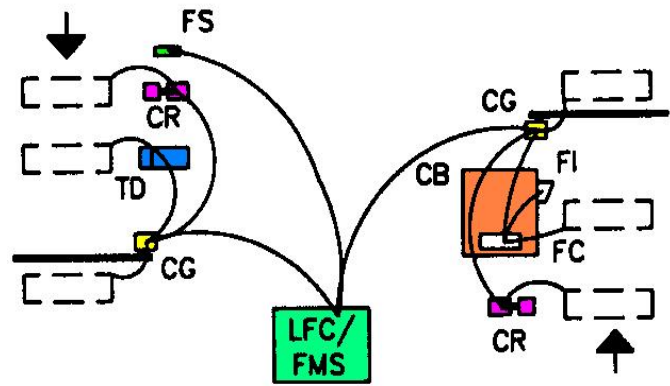


FIGURA 7: Configuración de un FMS

Fuente: Chrest et al., 1989

Nota: FMS, es la abreviación inglesa de “Facility Management System”, el sistema de administración de una instalación de aparcamiento en una configuración PARC nivel 2 típica. En la figura también aparecen los siguientes componentes: CR (lector de tarjetas), TD (dispensador de tickets), CG (barrera de acceso), FS (panel informativo del estado “libre/completo” del aparcamiento), CB (taquilla), FI (panel indicador del cobro), FC (ordenador de caja), LFC (ordenador local), y líneas discontinuas que representan el sistema de detección de vehículos.

Se procede, posteriormente, a estimar tiempos medios de búsqueda de un espacio libre, contrastando las decisiones de usuarios con información precisa y usuarios sin información. En la Figura 8 son presentados los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas, siguiendo la pauta de arribo de usuarios al aparcamiento y su estadía, descritas por Caicedo (2005a) como “S1” y “S3”.

De acuerdo con las simulaciones realizadas –cuyos resultados se presentan en la Figura 8– los sistemas PARC de nivel 4 son suficientemente buenos; la opción de preparar información “falsa” cuando quedan 5 o 10 espacios libres en una planta, para incidir en las decisiones de los usuarios, tiene pocas repercusiones prácticas. Sin embargo, la zonificación propuesta en el segundo párrafo de esta sección (ver series “Nivel 2” y “Nivel 2/lleno con 90%”), supone una reducción del tiempo de búsqueda cercana al 17%.

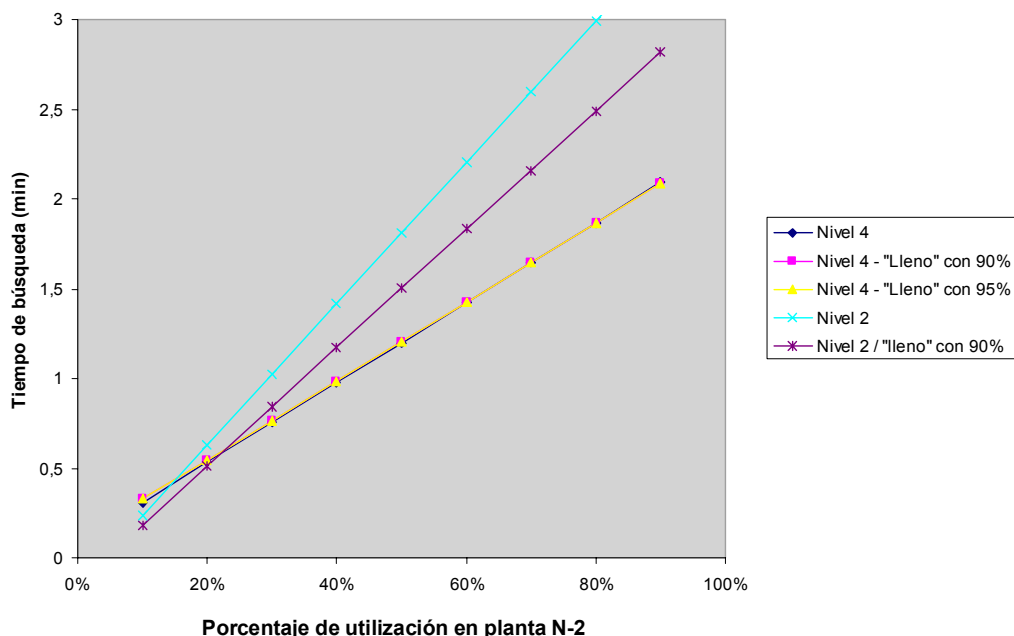


FIGURA 8: Regresión Lineal y Descripción del Tiempo Medio de Búsqueda en Función del Porcentaje de Utilización de la Planta N-2 en cada Escenario Simulado

Según Vázquez (2007), de la Dirección de Marketing y Comunicación de los aparcamientos Saba del Grupo Abertis, 300 €/plaza es un indicador apropiado para estimar el costo de un sistema PARC nivel 4; este indicador no considera el costo del sistema de reconocimiento de matrículas. Se trata, entonces, de una opción que conviene ser considerada solamente en aparcamientos cuya capacidad de plazas se acerca a las 600 unidades. Por otro lado, en centros comerciales –incluso en aeropuertos– en los que la capacidad estática supera las 2300 plazas, se opta por instalar un sistema PARC nivel 2.; en estos casos el indicador utilizado es 200 €/plaza.

Con toda seguridad la zonificación propuesta en esta investigación, para el aparcamiento de un centro comercial, implicará costos adicionales y estudios relacionados con la configuración óptima para operar y la adquisición de los sistemas de detección de vehículos adicionales (inclusión en el presupuesto en el caso de un proyecto nuevo); Caicedo (2005a) estima que con pequeños incrementos en la estructura de tarifa pueden darse las condiciones de rentabilidad económica y social en un aparcamiento para ofrecer un sistema de control que permita invertir menos tiempo en la búsqueda de un lugar para aparcar.

5. SÍNTESIS

De acuerdo con las simulaciones realizadas –cuyos resultados se presentan en la Figura 8– los sistemas PARC de nivel 4 son suficientemente buenos; la opción de preparar información “falsa” cuando quedan 5 o 10 espacios libres en una planta, para incidir en las decisiones de los usuarios, tiene pocas repercusiones prácticas. Sin embargo, la zonificación propuesta en el segundo párrafo de esta sección supone una reducción del tiempo de búsqueda cercana al 17%.

En comparación con el modelo de comportamiento propuesto por Caicedo (2005a), los modelos descritos por las ecuaciones (2) y (3) son más reales (puesto que permite suponer que un usuario que sabe que no hay plazas libres en una planta, aún puede seleccionarla para iniciar la búsqueda); sin embargo, su eficiencia predictiva es inferior. Como es usual, esta investigación sugiere un nuevo frente de exploración que se enfoque en estimar las repercusiones en las elecciones *a priori* de los usuarios, cuando éstos son informados de la escasez de plazas en una planta en particular, en ningún caso con información tan precisa como la ofrecida por un sistema PARC nivel 4.

Con toda seguridad la zonificación propuesta en esta investigación, para el aparcamiento de un centro comercial, implicará costos adicionales y estudios relacionados con la configuración óptima para operar y la adquisición de los sistemas de detección de vehículos adicionales (inclusión en el presupuesto en el caso de un proyecto nuevo); se trata, en todo caso, de alternativas que buscan mejorar la experiencia del usuario en un aparcamiento, una inversión que en el mejor de los casos resultará en una situación de operación económica y socialmente rentable.

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a Xavier Martínez de ACESA-AUCAT y Silvia Vázquez de SABA (ambos del grupo Abertis); también a Rodrigo Fernández.

REFERENCIAS

- Caicedo, F. (2005, a) Modeling of Operations and Parking Patron Behavior in Underground Parking Facilities. **PhD. thesis**. Technical University of Catalonia, SP.
- Caicedo, F. (2005, b) Caicedo, F. 2005. Implementación de estrategias de disminución de demoras en aparcamientos. **Actas del XII Congreso Chileno de Ingeniería del Transporte. SOCHITRAN**. ISSN: 0717-3482
- Caicedo, F., F. Robusté and A. López-Pita (2006) Parking Management and Modeling of Car Park Patron Behavior in Underground Facilities. **Transportation Research Record No. 1956, 60-67**. Transportation Research Board of the National Academies, Washington DC. ISSN 0361-1891
- Chrest, A., M. Smith and S. Bhuyan (1989) **Parking Structures: Planning, Design, Construction, Maintenance, and Repair**. Van Nostrand Reinhold. 1st ed. ISBN: 0-442-20655-0.
- Chrest, A., M. Smith, S. Bhuyan, D. Monahan and M. Iqbal (2001) **Parking Structures – Planning, Design, Construction, Maintenance and Repair**. KAP. 3rd ed. ISBN: 0-7923-7213-1
- Elköf y Weeks (2005) **Discrete Choice Models (DCM): An Object-Oriented Package for Ox**. <http://www.econ.cam.ac.uk/DCM/DCMWebPage.htm>
- Hensher, D. and J. King (2001) Parking demand and responsiveness to supply, pricing and location in the Sydney Central Business District. **Transportation Research A. 35: 3,177-196**. ISSN: 09658564.
- Lambe, T. (1996) Driver choice of parking in the city. **Pergamon-Elsevier Science Ltd**. SN 0038-0121.
- Ortúzar (2000) **Modelos econométricos de elección discreta**. Ediciones Universidad Católica de Chile. 1ed. ISBN: 956-14-0559-8
- Thompson, R., K. Takada and S. Kobayakawa (2001) Optimization of parking guidance and information systems display configurations. **Transportation Research C. 9 : 1, 69-85**. ISSN: 0968-090X.
- Vázquez, S (2007) Consulta vía correo electrónico para investigación en aparcamientos. **Dirección de Marketing y Comunicación de Aparcamientos Saba-Abertis**. www.saba.es