
APLICACIONES DE LAS TIC A LA GESTIÓN DE APARCAMIENTOS

.....
FÉLIX A. CAICEDO
NÚRIA COROMINAS
FRANCESC ROBUSTÉ

Centro de Innovación del Transporte
Universidad Politécnica de Cataluña

LOS USUARIOS SON LOS PRINCIPALES BENEFICIARIOS DE LA IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN LA GESTIÓN Y OPERACIÓN DE UN APARCAMIENTO. EN SU COMPORTAMIENTO, BASADO EN LAS DECISIONES TOMADAS, LA INFORMACIÓN DE LA

73

ocupación en tiempo real es utilizada como herramienta complementaria a la preferencia inicial; para una misma instalación se tendrían procesos de ocupación distintos, posiblemente ineficientes en cuanto a distancias recorridas, tiempos de búsqueda y circulación para un sistema de control de acceso precario. Las ineficiencias se diluyen si se ha estandarizado la oferta de acuerdo con las expectativas de los usuarios.

Aplicaciones de ITS (1), mediante el uso de las redes de comunicación existentes y a través de un prototipo de *Intelligent*

Parking System incorporan un sistema adaptado de administración de reservas y un mecanismo de autenticación para aparcamientos en los que «conviven» usuarios que realizan y usuarios que no realizan reservas. Es un mecanismo que utiliza Internet para realizar las reservas vía PC o terminales *i-mode* autenticadas por el uso del teléfono desde el cual se hace la reserva, y que facilita que el pago sea realizado de la misma forma. En este lote de aparcamientos, el cliente puede entrar una vez es verificada la tarjeta IC utilizada para la reserva, a través de un PIN o mediante el uso de *radio tag*.

En la gestión de aparcamientos, las aplicaciones TIC en aras de mejorar la calidad del servicio prestado no solo se concentran en la funcionalidad de la estructura, son tenidas en cuenta también para la tarificación encaminada hacia el *Value Pricing* mediante el cual se utiliza el cobro de tarifa de aparcamiento como *proxy* de la tasa por congestión.

De la misma manera en que se entienden las aportaciones tecnológicas, ergonómicas, etc. que mejoran las operaciones de aparcamiento y aumentan el nivel de satisfacción de los usuarios como inversio-

nes necesarias, no necesariamente rentables, que tienen repercusión en el cobro por el servicio prestado, los usuarios de las vías urbanas, que demandan nuevas estructuras, toman conciencia de que su uso conlleva un deterioro y empiezan a percibir costos que anteriormente no consideraban como directos: ambientales, congestión, tiempo. De ahí la familiaridad con que se asimila el concepto del cobro de una tarifa por un servicio recibido, en este caso por una compensación debida a una intervención suya.

Los operadores de aparcamientos en su papel de agentes reguladores de la congestión, aún cuando sus funciones objetivas puedan variar por finalidad económica o de bienestar social a través de la estructura de cobro de tarifa, no solo redistribuyen viajeros hacia otros modos de transporte sino que sirven como canalizadores de lo que debería ser cobrado como tasa por congestión. Finalmente, este conjunto formado por los peajes de acceso a las ciudades + la tasa por congestión + los aparcamientos concilian la circulación por las vías, los desplazamientos de los viajeros y la sociedad. El cuadro 1 pone de manifiesto la utilización de diferentes tipos de tecnología de punta por distintos modos de transporte; los aparcamientos, extensión del sistema de transporte de una ciudad, se benefician de algunas de las tecnologías descritas en el mencionado cuadro.

A lo largo de este artículo se describen diferentes aplicaciones de tecnología de información y comunicaciones en el mundo de los aparcamientos: sistema de control de acceso a instalaciones de aparcamientos, información blindada, ayudas al usuario y comportamiento del usuario, tarifa y servicios prestados, reserva de plazas, proyectos europeos y aparcamientos automáticos.

SISTEMAS DE CONTROL DE ACCESO Y RECAUDACIÓN

Un Sistema de Control de Acceso y Recaudación de una instalación de aparcamientos (PARC) (2) se conforma de barreras o puertas eléctricas automáticas,



activadas por sensores bajo la superficie de la rampa de entrada (lazos), o dispositivos de lectura de tarjetas para usuarios regulares que vuelven a su posición inicial de bloqueo cuando se detecta el paso de un vehículo. Si el ingreso se registró mediante una tarjeta magnética, ésta debe ser leída de nuevo a la salida para poder ser aceptada de nuevo.

En aparcamientos de rotación, a los usuarios se les entrega un billete (a través de un dispensador o en una taquilla) que presentan a la salida y con el cual se determina la duración y la cantidad a pagar por el servicio. Con sistemas mínimos es poco probable disponer de registros de transacciones, de disponibilidad de plazas ni de información sobre el comportamiento de los usuarios del aparcamiento.

Otros sistemas más complejos, con ayuda de microprocesadores, son capaces de imprimir reportes de los pagos y las transacciones realizadas, mejorando el control sobre la recaudación, minimizando errores y fraudes. Utilizando tarjetas de entrada es posible al menos controlar quien ingresa y quien sale del aparcamiento, así como el bloqueo de usuarios.

El cobro correspondiente depende del registro de la hora de entrada y de la hora de salida, excluyendo posibles errores de

datos de ingreso manual. En este sistema se incorpora el conteo de vehículos (adiciones cuando un vehículo ingresa y restas cuando abandona las instalaciones), que permite conocer la disponibilidad de plazas e informar del estado del aparcamiento (libre o completo) a través de paneles luminosos. Dado el evento «completo», la máquina dispensadora de billetes se inhabilita hasta que un nuevo recuento de vehículos le indique que hay plazas disponibles.

En instalaciones de gran tamaño, con diferentes entradas se utiliza un sistema central de acceso y de lectura de tarjetas en línea. Cuando una tarjeta es reconocida en una entrada su número es transmitido a la central, que revisa su validez y su acceso hacia áreas específicas en horas determinadas, de igual manera se puede negar el acceso.

Para usuarios de rotación, el pago puede realizarse directamente en la taquilla de salida —si el aparcamiento dispone de una cabina—, en efectivo, con tarjeta de crédito o con productos de prepago. La utilización de máquinas inteligentes permiten realizar este pago en cajeros cercanos al aparcamiento que validan la tarjeta de entrada y/o entregan un recibo que acciona dicha barrera y permite la salida del vehículo. Estos mismos cajeros que agilizan el pago requieren menos personal y espacio y aminoran el procesamiento de salidas, también informan de la duración y el coste, cobran y pueden dar cambio. La mayoría de veces estas validaciones se programan con una duración de 15 minutos después de su emisión, permitiendo al usuario llegar con comodidad hasta su coche y abandonar el aparcamiento.

Algunos aparcamientos modernos pueden prescindir de máquinas expendedoras de billetes o de tarjetas de entrada, al incorporar mecanismos de reconocimiento de placas o de lectura de tarjetas a distancia sin necesidad de introducirlas en una máquina de lectura. Probablemente el reconocimiento inicial de placas surge de la necesidad de controlar posibles fraudes en aeropuertos, —donde es muy común que los usuarios dejen su coche aparcado por días más que por horas—, debido a la pérdida del registro de entrada.

CUADRO 1
NUEVAS TECNOLOGÍAS Y MODOS DE TRANSPORTE DE APLICACIÓN

Tecnologías	Sector(es) de transporte de implementación			
	Carretera	Aéreo	Ferrocarril	Tpte. Marítimo
Nueva tecnología de sensores	X	X	X	X
Procesamiento de imágenes	X	X		
Reconocimiento y sintetización de voz	X	X	X	X
Sistemas de posicionamiento global (GPS)	X	X	X	X
Nuevos sistemas de información visual	X	X	X	X
Nuevos sistemas de información por radio	X	X	X	X
Nueva tecnología de «transponders»	X	X	X	X
Sistemas de tarjetas inteligentes	X		X	
Ordenadores de a bordo	X	X	X	X
Nuevos «displays» en vehículos	X	X	X	X
Nuevos enlaces de comunicaciones	X	X	X	X
Centros públicos de información	X	X	X	X
Internet como fuente de información	X	X	X	X
Simuladores como herramientas de aprendizaje	X	X	X	X
Recolección de datos en tiempo real	X	X	X	X
Procesamiento de datos en tiempo real	X	X	X	X
Difusión de datos en tiempo real	X	X	X	X
Mapas y cartas electrónicos	X	X		X
Tecnología de radar	X	X	X	X
Tecnología láser	X	X	X	X
Desarrollos en hardware	X	X	X	X
Desarrollos en software	X	X	X	X
Automatización	X	X	X	X

FUENTE: EC project HINT.

Inicialmente, la placa se introducía manualmente en los archivos del sistema central mediante un empleado del aparcamiento, con adiciones al tiempo de procesamiento de las entradas; ahora es posible registrar las placas usando la propiedad reflectora de la pintura y digitalización de imágenes con el vehículo detenido o incluso en movimiento, situación que demanda menos espacio para el carril de entrada. Lo más común es que un operador trabaje de forma conjunta con varios métodos de control de acceso de vehículos, contemplando el fallo o reparación por mantenimiento de cada uno.

Una computadora de control central en línea con los barreras o puertas de entrada y salida, lectores de tarjetas, máquinas de reconocimiento de placas, lazos en los tramos de circulación de vehículos, sensores en las plazas, paneles informativos, taquillas y cajeros automáticos, registra

información valiosa sobre tendencias y comportamiento de los usuarios del aparcamiento para prever y planear situaciones especiales.

Varios aparcamientos también pueden estar en línea, cada uno con una computadora local (LFC), la cual recolecta y organiza los datos de cada instalación a partir de los periféricos y los convierte en información reconocida (protocolo) por un sistema de administración de instalaciones (FMS) para luego enviarlos a un computador principal (CFC). Diferentes sistemas, que se describen a continuación:

Simple: periféricos conectados al CFC, que sirven únicamente a una instalación, si no es necesario estar conectado a otros aparcamientos.

Compuesto: periféricos en varias instalaciones, que son conectados a un CFC,

usados por grupos de aparcamientos gestionados conjuntamente.

Complejo: periféricos conectados a un LFC en cada aparcamiento, utilizado cuando un grupo de aparcamientos son gestionadas, local e individualmente pero administradas en conjunto con información compartida.

Un mismo aparcamiento se divide en zonas (plantas) cuya ocupación puede ser monitoriza por separado.

LA INFORMACIÓN

La oferta del operador, aparte de proveer un estructura fluida, cómoda y fácil de entender, se concentra en conducir a los usuarios hacia las plazas libres utilizando

la información disponible. En una instalación moderna se cuenta con sensores, indicadores luminosos de ocupación, conteos periódicos, paneles de información variables, color de las plantas, color de plazas, color de pasillos, enumeración de las plazas, zonificación de las plantas, avisos y mapas de la instalación, por mencionar algunos.

Una aplicación del IPS (de la abreviación en inglés del Sistema de Aparcamiento Inteligente) fue utilizada en la universidad de Texas para brindar información en tiempo real del aparcamiento en aras de reducir la congestión y reubicar a los usuarios, logrando un uso más eficiente de la oferta (Crowder, M. y Walton, C., 2003) y mayor control sobre los estacionamientos ilegales. Si bien la aplicación está basada en la necesidad de brindar recomendaciones para encontrar de forma rápida las plazas libres, está resultando de creciente interés para los conductores por proporcionar acceso a información en tiempo real y en pleno recorrido hacia un destino particular.

En *On-line TDM Encyclopedia* (3) se describen algunas de las ventajas derivadas de la información a los usuarios para lograr un uso más eficiente de la capacidad del aparcamiento, como son la rentabilidad, la reducción de demoras y frustraciones y el incremento de la satisfacción del conductor.

76

La oferta de información brindada por el operador de aparcamientos es amplia y variada, pero a grandes rasgos podría clasificarse en dos ramas: información externa, aquella a la que puede acceder un usuario (o uno posible) de la instalación antes de ingresar, y la interna, que viene a ser aquella con la cual se inicia el proceso de comunicación dentro del aparcamiento. Veamos, a continuación las categorías en que se divide cada una de ellas:

INFORMACIÓN EXTERNA EN ZONAS URBANAS ALEDAÑAS

La idea de cercanía de un aparcamiento le llega al viajero a través de la convención «P», de *parking*, usualmente en letra



blanca y en fondo azul. Algunos paneles de información variable (VMS) son más explícitos, indican la disponibilidad de plazas en varios aparcamientos dentro de la misma zona con la palabra «LIBRE» en letras de color verde o la palabra «COMPLETO» con letras de color rojo, de forma que un conductor en su coche puede leer rápidamente el estado de un aparcamiento de interés sencillamente con el color de las letras.

La elección de estos colores es debida a la familiaridad y procedimiento establecido de los conductores con las luces de un semáforo. Mientras existen cantidad de eventos cotidianos en los que el color rojo significa prevención, detención, alerta, en el mundo de los aparcamientos estaría asociado con el impedimento a entrar o a estacionarse, en tanto que el verde implica todo lo contrario: disponibilidad.

EN LA ENTRADA DEL APARCAMIENTO

Aún conociendo la disposición de plazas en la zona de destino, es necesario informar al viajero que manifiesta una clara intención de ingresar al aparcamiento la disposición actual de plazas. Este aún no es un usuario del aparcamiento, ya que

según sus intereses (una forma coloquial de referirse al deseo de pago), puede desistir del uso de las instalaciones, de acuerdo con la cantidad de vehículos que hagan fila para entrar (posiblemente aquellos que han visto la misma información de disponibilidad de la zona). En la entrada, el tipo de información brindada se refiere, de nuevo a la disposición de plazas, en cantidad, usualmente sin especificar el total.

Un operador de aparcamientos puede utilizar medios de comunicación visual y escrito (radio, televisión, periódicos, boletines, etc.) para ofrecer su infraestructura, productos y servicios. Por lo regular, esta información se refiere actividades, ubicación y disponibilidad. A través de Internet, las administraciones municipales que disponen de sitios oficiales permiten conocer la ubicación de estaciones de transporte público y la localización de aparcamientos sobre mapas de guía. Tanto para la administración como para los operadores, esta información puede hacerse más completa con la capacidad estática de plazas y tiempos aproximados de viaje a cada instalación.

INFORMACIÓN INTERNA

Dentro del aparcamiento, el usuario se encontrará con diferentes tipos de información, gran parte de ella estandarizada al ser considerado el aparcamiento como un edificio de uso público y llevar implícito en su funcionamiento la circulación de vehículos y personas. Otro tanto dependerá de imposiciones locales, experiencias anteriores del operador y el deseo de brindarle comodidad el usuario durante su estancia. La información general se refiere a mapas orientativos tipo, «usted está aquí», o letreros con indicaciones para acceder a sitios de interés, zonificación de pasillos, etc. También son parte de la información interna las señales de prevención y circulación en el proceso de búsqueda; la información fiscal, puesto que, debido a que en una estructura de aparcamientos se presta un servicio que conlleva un costo es necesario, tanto para el operador (por control interno y auditoría) como para el usuario tener un registro escrito del valor a pagar y, finalmente, las ayudas al usuario.

AYUDAS AL USUARIO EN EL PROCESO DE BÚSQUEDA

Toda estructura moderna de aparcamientos dispone de un Servicio de Atención al Cliente en el que se recogen sugerencias, indicaciones y reclamaciones. A través de estos servicios y de la experiencia de los operadores, que eventualmente son usuarios en otra o en la misma instalación, se han ido incorporando mejoras que convierten la estancia en un aparcamiento en un proceso cómodo, teniendo en cuenta factores ergonómicos y psicológicos.

A través de las aplicaciones TIC surgen las ayudas a los usuarios en la toma de decisiones para encontrar una plaza ágilmente, a reconocerla después de un periodo de tiempo y abandonar las instalaciones de forma guiada. Un mínimo sistema de control de acceso le permite a un usuario conocer por lo menos que hay una plaza disponible para él, otra cosa es saber dónde se encuentra. Pero suponiendo que existen varias, el usuario se enfrenta al proceso de decisión que regirá el proceso de búsqueda que llevará a cabo hasta dejar su vehículo detenido en una plaza.

En el momento de acceso es de gran utilidad no solo saber que hay plazas libres sino complementar esa información con la disponibilidad por zonas o por plantas de un aparcamiento. Conocer esta disponibilidad antes de recorrer una planta supone economía, al no obligar a recorrer total o parcialmente una planta para acceder a otra, de esta forma un usuario puede descartarla invirtiendo menos tiempo y todo el ahorro (distancia recorrida, consumo de combustible, emisiones en un ambiente cerrado, etc.) que esta ventaja acarrea.

Un sistema local de conteo que incorpora sensores que detectan la presencia de un vehículo estacionado y que a su vez emite una señal luminosa puede indicarle al usuario la variedad de opciones de que dispone para aparcarse. El sistema de señalización plaza a plaza lo conforman dispositivos de luces rojas que se encienden so-



bre cada plaza cada vez que un vehículo la ocupa transcurridos aproximadamente 10 segundos; la lectura del usuario se hace de un vistazo, detectando entre las luces de color verde, aquellas que le permitirán estacionar su vehículo.

En paralelo estos sensores sirven al operador para constatar que vehículo ha estado aparcado por más de 24 horas, ya que el dispositivo en esta situación emite una luz de color ámbar.

La oferta de información siempre está presente, lo que, no quiere decir que sea utilizada, tampoco que ésta sea usada correctamente. Observaciones en aparcamientos (4) muestran que los usuarios hacen uso de cierta información y en caso de necesidad, como por ejemplo:

■ La información externa le indica al usuario si hay o no plazas libres.

■ Disponer 100 ó 150 plazas de 1500 no representan gran diferencia.

■ Para la gran mayoría de usuarios, la disposición de plazas en la primera planta descarta la revisión de las plantas siguientes.

■ Si la disponibilidad total se acerca a valores muy pequeños, los usuarios revisan la disponibilidad de cada planta.

■ Para un usuario, la disponibilidad de 5 plazas libres está fuertemente asociada a un largo proceso de búsqueda, idea gobernada por el desconocimiento de la ocupación y del aparcamiento en el momento de acceder.

La descripción anterior sugiere, con cierta razón, que buena parte de la oferta de información es infrutilizada gran parte del tiempo. Los periodos críticos se concentran en la mayoría de los casos en dos horas del día. En estos momentos puntuales, una mala experiencia puede ser memorizada con más detalle que el servicio en general, afectando, por consiguiente, la impresión global de la estancia en el aparcamiento, lo cual justifica cualquier tipo de mejora.

Tan importante como encontrar el lugar donde fue aparcado un coche (importancia definida por el coste de tiempo para el usuario, angustia, costes en la imagen y percepción del aparcamiento para el operador) puede ser para un usuario la búsqueda de una plaza cuando la oferta de estas es escasa. Al encontrarse con que la disponibilidad en un aparcamiento de 2.000 plazas es de 15 ó 18 plazas, menos del 1%, conviene saber donde están y un tiempo aproximado de recorrido para llegar hasta cada una de ellas.

En esta situación, los usuarios prestan verdadera atención a la información que tienen a mano, es probable que el peso que tiene una plaza por estar cerca de la superficie pierda importancia al priorizarse ahora la necesidad de encontrar, aquella que ofrezca menos tiempo de búsqueda. La percepción de la estructura del usuario nunca es tan completa como la del operador, por eso no es de extrañar que algunos de los cálculos realizados por el primero, casi siempre contrastados con sus preferencias iniciales, sean inapropiados y resulten en una estrategia de búsqueda planta a planta o pasillo por pasillo a poca velocidad y con detenciones para hacer chequeos de ocupación en cada zona, lo que implica circulación lenta y grandes recorridos que aumentan el tiempo destinado a la búsqueda de una plaza. En situación de espera, el tiempo parece transcurrir más lento.

A través de un sistema de control de acceso que más que indicar la disponibilidad dé a conocer cuales son y dónde están las plazas libres, el operador, que por otro lado sabe como debe llenarse el aparcamiento, puede hacer cálculos con más precisión, sugerir recorridos óptimos por pasillos y rampas de comunicación hacia la plaza más conveniente; aún más, ésta puede ser reservada para el usuario que demanda esta información o este servicio. El costo del aprovechamiento de esta información debe ser muy inferior al de la imagen de un aparcamiento al que se le asocian molestias y grandes tiempos de búsqueda de una plaza por el desconocimiento de su oferta.

COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS

Con los eventos registrados y los datos almacenados por un sistema de control de acceso a un aparcamiento es posible reconstruir el comportamiento de los usuarios por medio de las decisiones realizadas por ellos. Durante el proceso de ocupación, las decisiones tomadas son el resultado de contraponer, en el caso de una planta para iniciar la búsqueda de una plaza, la preferencia inicial de una

CUADRO 2 MEJORA Y TENDENCIAS DEL SERVICIO EN UNA INSTALACIÓN DE APARCAMIENTOS		
Premisa	Campo de actuación	
Eliminación de molestias	Intranquilidad	Seguridad Iluminación Información
	Conflictos de circulación	Diseño de accesos
	Daños parciales a vehículos Robo de vehículos	Diseño y ergonomía Seguridad
Soluciones funcionales	Demoras en la entrada	Servidores Estrategias de disminución de demoras
	Tiempo de búsqueda	Uso de la información Sugerencias al usuario Diseño de circulación y acceso
Percepción real de la oferta del operador	Pedagogía e información de la oferta del operador	Información Estructura de cobro Infraestructura
	Conocimiento del comportamiento de los usuarios	
Entendimiento de las actuaciones de los usuarios	Identificación de costes directos:	Robos Seguridad Tranquilidad Cercanía Conflictos
	Identificación de costes indirectos:	Desgaste vehículo Recorrido y emisión de gases Ocupación y consumo eléctrico

FUENTE: Elaboración propia.

planta con su disponibilidad de plazas, repitiendo la comparación con las demás hasta decidirse por una. Una secuencia de elecciones de planta de un aparcamiento que abre sus puertas puede parecerse a la siguiente: 1,1,1,1,1,1,1,2,3,1,4,1 ... 1,1,1,2,14,3,2,2,2,1,1,2,1,2,1,2,1,2,2,2,2...

Conocer los momentos en los que dos plantas consecutivas igualan su probabilidad de ser escogidas y la disponibilidad de plazas que causa este fenómeno permite estimar la preferencia inicial por cada planta y, asimismo, establecer la relación entre percepción, utilidad y realidad.

La mejora del servicio de aparcamientos debe tender hacia la satisfacción y comodidad del usuario, lo cual se traduce en

soluciones funcionales para disminuir tiempos de búsqueda y demoras fuera del aparcamiento y la eliminación de molestias en temas de seguridad (o tranquilidad), conflictos de circulación, robos, etc.; la evolución del servicio de aparcamientos debe conducir también hacia un mayor conocimiento del aparcamiento, eso es la percepción real de la oferta del operador y el entendimiento de las actuaciones del usuario en donde la valoración de costes no es selectiva en cuanto a su incidencia directa.

Estas premisas conducen inevitablemente a la formulación de estrategias de optimización, diseño funcional, a valores unitarios en la deformación de la percepción de la estructura por parte de los usuarios y a la «aniquilación» de la preferencia ini-

cial transformando teóricamente la geometría del aparcamiento (5) y ubicándolo —mientras la velocidad del desplazamiento en coche sea superior a desplazarse a pié— tan cerca como sea posible del destino.

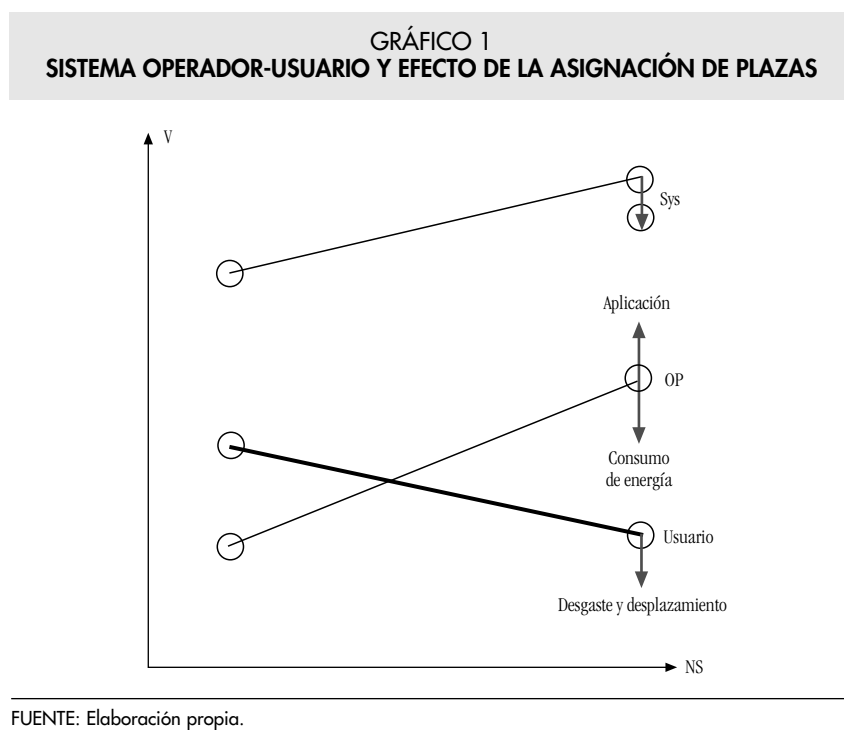
Bien por la historia de una ciudad y su planteamiento de desarrollo o por limitaciones físicas, constructivas, de presupuesto, de aprovechamiento de espacio, etc., un aparcamiento subterráneo real puede definirse en tres tipos básicos de infraestructura: accesos de entrada y salida juntos; separados y ubicados en extremos opuestos de cada planta, o como ocurre con pasillos en forma de «U», con accesos de entrada o salida ubicados en la mitad del recorrido de una planta. Las mejoras al servicio de aparcamiento aplicadas a una infraestructura actual se resumen en el cuadro 2.

Cuando el usuario conoce los costes indirectos de sus actuaciones (desgaste, recorrido y emisión de gases, ocupación y consumo energético, etc.), aparte de los considerados como directos a la hora de formar la preferencia inicial y tomar decisiones (robos, seguridad, tranquilidad, cercanía y conflictos), la forma de la estructura cobra importancia el proceso de ocupación de plazas resulta por lo general ineficaz.

Puede suceder que el usuario tome decisiones inapropiadas generando sobrecostes adjudicables a la desinformación. Para evitar estas situaciones pueden ser convenientes sugerencias y/o asignación de plazas a los usuarios en la entrada del aparcamiento aprovechando el sistema de control de acceso y las TIC.

TARIFA Y SERVICIOS PRESTADOS

Las aplicaciones de las TIC en aparcamientos permiten plantear, por ejemplo, un tipo de distribución geográfica (de tarifa unitaria) en función de la accesibilidad al «centro urbano», de la oferta del transporte público y de la calidad del servicio del aparcamiento. La accesibilidad al «centro» viene determinada por los in-



dicadores de eficiencia: tiempos de viaje, velocidad de recorrido y capacidad del corredor, etc. La oferta del transporte público viene dada por la cantidad de opciones brindadas, frecuencia, tiempos de viaje, etc. La calidad del servicio del aparcamiento (6) queda determinada por la cantidad de plazas disponibles, los tiempos de recorrido en la búsqueda de una plaza, los conflictos, y otras características como luminosidad, estética y ayudas al usuario, teniendo en cuenta que un aparcamiento subterráneo involucra costes adicionales en cuanto a ventilación, sensores (PMR) y control de incendios.

El planteamiento tiene como partida un corredor de longitud L , donde se hace una determinada cantidad de viajes con destino al «centro». Existe la posibilidad de llegar al destino en coche y a través del transporte público. A lo largo de L se localizan en distancias 0 , X y L , tres aparcamientos, los dos primeros tipo *Park&Ride* (en estaciones intermodales), para los cuales debe establecerse una tarifa unitaria para cada tipo de usuario que viene dada por la duración del aparcamiento.

Para llegar a cada aparcamiento deben cumplirse ciertas desigualdades de los costos para cada tipo de usuario así:

■ $P\&R_1$: Un viajero se convertirá en usuario del primer *Park&Ride* ($P\&R_1$) si su deseo de pago es superior al producto del tiempo de desarrollo de su actividad con la estructura de cobro de tarifa, sumado con el tiempo invertido una vez realizada la conexión con el transporte público para llegar al «centro», siempre inferior al valor a pagar por estacionarse en $P\&R_X$ y acceder por medio del transporte público desde esa localización hasta el «centro».

■ $P\&R_X$: Un viajero se convertirá en usuario del $P\&R_X$ si su deseo de pago es superior al producto entre tiempo y estructura de cobro de dicho aparcamiento, sumado con los tiempos invertidos en coche para acceder a la instalación y en transporte público para acceder al centro, siempre inferior al valor a pagar por estacionarse en P_C y el costo de acceder al centro en coche.

■ P_C : Un viajero se convierte en usuario del P_C siempre y cuando su deseo de pago sea superior al producto del tiempo de desarrollo de la actividad que motivó el viaje, con la estructura de cobro de tarifa del aparcamiento localizado en el centro, sumado el tiempo invertido para acceder en coche.

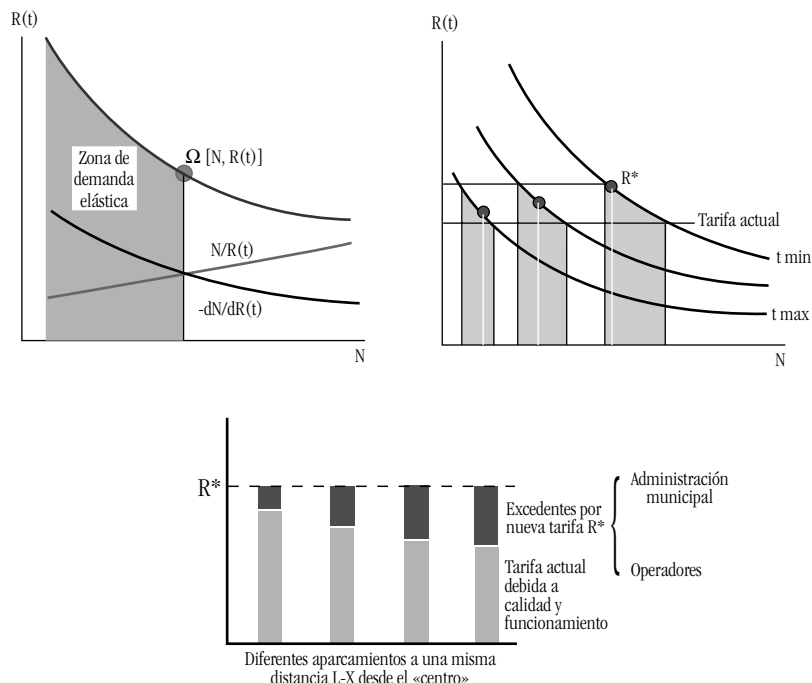
Es claro que para encontrar la tarifa unitaria óptima de cada aparcamiento en su ubicación es necesario conocer los tipos de usuarios y las curvas de demanda agregada entre el número que aparca y una tarifa unitaria establecida. Es determinante ubicar sobre dichas curvas el punto de la situación actual y comprobar que la demanda es elástica para garantizar que un aumento razonable de la tarifa maximiza los ingresos totales para el operador. Habrá una transmisión de demanda del centro hacia fuera debido a que al establecer una nueva tarifa el deseo de pagar de algunos usuarios no será suficiente para llegar al centro pero sí para estacionarse en $P\&R_X$ o en $P\&R_I$.

Por otro lado, se le exige al transporte público la intermodalidad, absorber una nueva cantidad de viajeros y mejorar su desempeño. Cada uno de los puntos de las zonas definidas como de destino se convierte en un «centro» desde el cual se establecen tarifas unitarias de forma radial; ya que en la implantación de esta medida a través de la administración municipal, cuya finalidad es aminorar y recaudar los costes de la congestión en los corredores de la zona de destino, debe convenirse el uso de los excedentes. Es necesario que los servicios en aparcamientos en una distancia X sean similares para evitarle al usuario la confusión debida a una diferencia en utilidad percibida a un mismo costo en alternativas diferentes. Como puede apreciarse, para su funcionamiento, este planteamiento requiere en todo momento información referente a la ubicación de un aparcamiento, su estructura de cobro y la oferta del transporte público.

RESERVA DE PLAZAS

Ya sea en la misma entrada de acceso a una instalación de aparcamientos o a través de Internet, los beneficios de la reserva de plazas tienen el claro objetivo de mejorar el servicio, minimizando el tiempo invertido en la búsqueda de una plaza, disminuir las demoras de usuarios y hacer más fluido el proceso de entradas o la circulación. Se hace ahora hincapié en la regulación de viajes hacia un

GRÁFICO 2
ELASTICIDAD DE LA DEMANDA Y SERVICIOS SIMILARES
A IGUAL DISTANCIA DEL CENTRO



FUENTE: Elaboración propia.

destino en el cual la reserva de plazas se convierte en un mecanismo de regulación, de modo que el viajero antes de iniciar su desplazamiento puedan decidir si lo hacen o no en coche al tener que contar con la disponibilidad de una plaza.

La reserva de plazas por Internet debe fomentar el uso de tarjetas de crédito así como la posibilidad de hacer operaciones desde casa o desde el lugar de trabajo, también la planificación de un viaje conociendo las condiciones del destino. Un lote de aparcamientos ofrece ventajas en cuanto a la ubicación de usuarios que lleguen antes de la hora de reserva o la realización de nuevas reservas mientras los usuarios están aún en servicio.

En el momento en que un operador de aparcamiento se decide por ofertar este servicio deberá resolver varios interrogantes: ¿Qué ocurre si un usuario llega antes de la hora de reserva? ¿Qué sucede si llega más tarde? También es posible que la actividad que motivó el viaje dure

un tanto menos o un tanto más que el tiempo reservado, y que en este último caso sea posible tener a otro usuario esperando por esa misma plaza, por lo tanto el aparcamiento debería tener la facilidad de desplazar ese coche hacia otro lugar, muy cercano a la salida.

En cuanto a los tiempos de reserva, si se hacen por intervalos (horas, cuartos de hora o fracciones de cinco minutos) para mayor comodidad de los usuarios y considerando la probabilidad de llegar a una hora puntual teniendo en cuenta la red de transportes de la ciudad, una vez hecha la reserva podrá sugerirse al usuario una hora de inicio del viaje y una ruta óptima.

En general, se requieren zonas de clasificación y orden de entrada, de espera por tiempo cumplido junto con algunas plazas para cubrir la demanda durante el tiempo que tarda en ser movilizado un coche desde la planta actual hasta la zona de espera, aparte de la capacidad estática de plazas del aparcamiento.

El proyecto de investigación *stadinfo cologne traffic and parking data system*, financiado por el gobierno alemán y basado en la recolección de datos de tráfico para ser distribuidos en diversas plataformas, incluyendo Internet, telefonía móvil, sistemas de navegación, etc., partía de un enfoque muy similar. Su realización duró cuatro años habiendo finalizado en octubre de 2002. Particularmente para el sector de los aparcamientos, el proyecto brinda a los conductores información precisa sobre el estado de los aparcamientos, con el objetivo de reducir algunos viajes y disminuir, a su vez, el número de coches circulan en busca de una plaza. El sistema continuamente recolecta datos de tráfico (flujos, recomendaciones de rutas, tiempos de viaje entre destinaciones, horarios del transporte público, tarifas, cancelaciones, costes para distintos modos de transporte), y también información sobre la disponibilidad de los aparcamientos.

La recolección de datos se realiza utilizando la infraestructura existente por ejemplo, sensores que cuentan vehículos y velocidades en un sitio específico y 245 lectores infrarrojos adicionales instalados en diversos puntos de la ciudad para ser finalmente almacenados en el Centro de Control del Tráfico de Colonia. Treinta y siete aparcamientos fueron conectados al sistema con una capacidad cercana a las 17.000 plazas, con la idea de facilitar la consulta de la disponibilidad de plazas en un aparcamiento determinado a corto plazo y poder hacer reservas ligadas a su número de matrícula o de identificación. Cuando el vehículo llega el número de matrícula es leído y validado por la base de datos. En el futuro este sistema será cambiado por comunicaciones «a bordo», usando tecnologías de transmisión de datos tales como el *Bluetooth* para identificar los vehículos.

PROYECTOS EUROPEOS

La aplicación de las nuevas tecnologías en el campo de la gestión de aparcamientos es uno de los temas a tratar en el marco europeo. Algunas de estas pueden proporcionar tan solo información sobre la situación de los aparcamientos o, en el caso óptimo realizar la reserva de plazas y pago vía electrónica. De los proyectos euro-

peos realizados recientemente cabe destacar los que se exponen a continuación:

Telepay. El principal objetivo de telepay consiste en desarrollar un sistema innovador de pago para los servicios de transporte, entre ellos los aparcamientos, usando telefonía móvil. Para ello se desarrolló una serie de pruebas piloto en las ciudades de Berlín, Roma, Turku y París.

El proyecto incluye el estudio de aspectos técnicos, legales y de viabilidad comercial, presentando un sistema de pago armonizado a nivel europeo. El próximo paso se basa en analizar la integración del sistema TELEPAY con el resto de modos de transporte, aparcamientos, *Park&Ride*, *Park&Pool* y otros servicios municipales, analizando los aspectos críticos en cuanto a información, pago y adquisición.

Radarnet. El proyecto radarnet tuvo como objetivo desarrollar una nueva red de radares de bajo coste para aplicaciones automovilísticas y preparar la realización de las primeras aplicaciones entre las cuales se encuentra la ayuda al aparcamiento.

La principal aplicación de radarnet en el campo del aparcamiento consiste en evitar colisiones al realizar las maniobras de aparcamiento a partir de las señales que reciben los automóviles (equipados con adecuados sensores); la precisión del sistema es mayor en distancias cortas, donde todos los sensores detectan los objetos próximos, aquí la redundancia maximiza la precisión. En pruebas experimentales se observó la inexistencia de falsas alarmas, con lo que se garantiza su funcionalidad.

e-Parking. La finalidad del proyecto e-parking es desarrollar un sistema que permita obtener información sobre la disponibilidad de plazas de aparcamiento, reservar y pagar directamente de forma electrónica. A largo plazo, E-parking tiene por objetivo crear una herramienta universal y de fácil implementación para el comercio electrónico; a corto plazo, el objetivo es generar un servicio de optimización del espacio destinado al aparcamiento.

Para ello, el proveedor de plazas (operador) expone su oferta, la cual queda registrada en el sistema. Los usuarios hacen su reserva vía Internet o vía WAP, de mo-

do que si es aceptado el automóvil puede entrar y salir del aparcamiento mediante tecnología *Bluetooth*. Cuando el coche deja el aparcamiento, el pago es realizado de forma electrónica y toda la operación queda registrada en el sistema.

Capitals ITTS. Capital itts une servicios de movilidad en cinco capitales europeas (Bruselas, Berlín, Madrid, París y Roma) junto con servicios de turismo a partir de un portal web con información cultural y de movilidad, y la oportunidad de reservas *on-line*, realización de itinerarios, información del tráfico y disponibilidad de plazas de aparcamiento, entre otros servicios. Turistas, conductores de autobús y ciudadanos gracias a este proyecto tienen la posibilidad de recibir toda la información que deseen en diferentes formatos como puede ser Internet, GSM, WAP, centros de atención al cliente, etc. Se trata, por lo tanto, de servicios integrados a viajeros y turistas.

Telecapsy. El proyecto telecapsy, en el cual participan las ciudades de Grenoble, Hannover, Alicante y Gloucester, tiene como objetivo promover el *carpooling* combinado con instalaciones de aparcamiento a partir de un centro de control y herramientas digitales y telemáticas. Los usuarios del servicio pueden buscar sus compañeros de viaje vía Internet, y una vez decidido dónde quieren aparcar introducirse en el mercado electrónico de plazas de parking disponibles y encontrar aparcamiento de forma fácil y rápida.

APARCAMIENTOS AUTOMÁTICOS

Este tipo de aparcamientos viene construyéndose a menor escala desde finales de la década de los 50's, aunque el diseño, los materiales y los procesos se han optimizado con el tiempo. El *Istanbul Multiparker 720* (7) es el edificio de aparcamiento de construcción más reciente en Europa. Finalizado en mayo del 2002, en pleno centro comercial y de negocios (CBD) de la ciudad de Estambul, tiene capacidad para almacenar 612 vehículos (468 de altura máxima 1.55 m y 144 para alturas hasta de 2.0 m) en seis estructuras cúbicas de acero, vidrio y aluminio.

Es probable que usuarios no habituales, que en situaciones de espera perciban el paso del tiempo de forma alterada (varias veces mayor al tiempo transcurrido realmente), no encuentren ventajoso este tipo de aparcamientos —son tres plantas subterráneas y catorce sobre el suelo alcanzando una altura de 38 metros—, este tipo de estructuras permiten aprovechar mejor el espacio puesto que se reemplazan rampas de conexión entre plantas, áreas para maniobrar y pasillos de circulación por áreas de transferencia, plataformas, ascensores y demás mecanismos que permiten almacenar a los coches en las celdas de la estructura.

Se requiere un diseño de flujo de tráfico que garantice libre circulación para los coches que llegan, por lo menos su recepción por alguna de las entradas, alta capacidad de servicio y la perfecta resolución de flujos entrantes y salientes; lazos bajo el suelo activan la puerta de acceso, una vez que el usuario conduce su coche hasta la plataforma de carga en la entrada, lo abandona y activa el proceso de almacenamiento recibe un chip mediante el cual se asocian usuario y coche para la posterior reclamación. A puertas cerradas, la plataforma de carga lleva el coche hasta el área de transferencia y es elevado hasta la celda libre más próxima donde se intercambia la plataforma con el coche por una libre que es con la que desciende el ascensor, lista para recibir un nuevo vehículo. Aparcamientos públicos, edificios de oficinas, hoteles, edificios industriales, algunas joyas arquitectónicas y en especial casas de venta de automóviles hacen uso actualmente de este tipo de aparcamientos.

• • • • •

NOTAS

- (1) *Intelligent Parking System* de Service Integration Laboratories; http://www.ntt.co.jp/RD/OFIS/active/2001pdf/pf16_e.pdf
- (2) *Parking Access and Revenue Control System*.
- (3) Ver *Parking Solutions: A Comprehensive Menu of Solutions to Parking Problems*. Online TDM Encyclopedia en referencias bibliográficas.
- (4) Aparcamientos SABA Catedral, SABA Rambla de Cataluña y SABA Plaza Cataluña; Barcelona 2002.
- (5) Son los inconvenientes actuales los que dan concepción a la preferencia inicial.
- (6) Algunos de los conceptos definidos son percibidos directamente por los usuarios como costes o incomodidades, costes de indirecta percepción (e.g. distancia recorrida, emisión de gases, ocupación – consumo eléctrico, etc.) son tenidos en cuenta a la hora de entender al servicio de aparcamientos como una actividad ambientalmente sensible, también como un servicio que puede ser enriquecido con medidas que disminuyen las molestias experimentadas por los usuarios aumentando su comodidad y satisfacción.
- (7) *Wöhr Project* – Premiado con el *Turkish Master Builders Association*

• • • • •

BIBLIOGRAFÍA

- CAMPOS, J. Y CASAS, C. «Los ingenieros de transporte ante el reto de las nuevas tecnologías». Actas del IV Congreso Nacional de la Ingeniería Civil, volumen II, pp. 2069-2074. Madrid, noviembre de 2003. ISBN: 84-380-0259-5 (obra completa), 84-380-0261-7 (volumen 2).
- CROWDER, M. Y WALTON, C. «*Developing an Intelligent Parking System for the University of Texas at Austin*». Technical Report No. SWUTC/03/167229-1, 2003.
- CHREST, A. et al. *Parking Structures: Planning, Design, Construction, Maintenance, and Repair*. Van Nostrand Reinhold. ISBN 0-442-20655-0.
- DIE PARKLÜCKE – Nr. 22/2002.
- EC project HINT deliverable D1. coordinado por el Institute for Transport Studies, University of Leeds (1997).
- INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS – ITE – www.ite.org.
- LAN, L. *Design and Analysis of Parking Pricing Schemes at Urban Traffic Centers*. Dis-

sertation Series UCB-ITS-DS-86-2. ISSN 0192 4109, 1986.

PARKING EVALUATION: Evaluating Parking Problems, Solutions, Costs, and Benefits. Online TDM Encyclopedia – Victoria Transport Policy Institute. <http://www.vtpi.org/tdm/tdm73.htm>, 2003.

PARKING SOLUTIONS: A Comprehensive Menu of Solutions to Parking Problems. Online TDM Encyclopedia – Victoria Transport Policy Institute. <http://www.vtpi.org/tdm/tdm72.htm>, 2003.

ROBUSTÉ, F et al. *Apuntes de Planificación del Transporte*. CPET, 1994.

ROBUSTÉ, F Y SARMIENTO, I. *Sistemas Tarifarios del Vehículo Privado en Medio Urbano*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento. ISBN 84-498-0446-9.

SLOMAN, J. (1997) *Introducción a la microeconomía*. 3 Ed. Prentice Hall. ISBN 84-89660-08-5.

• • • • •

WEBPAGES

- Service Integration Laboratories. «Intelligent Parking System». http://www.ntt.co.jp/RD/OFIS/active/2001pdf/pf16_e.pdf.
- THOMPSON, R. AND COLLINS C. *Downtown Parking Management System*. Transportation Research Record 1459, p 63. ISBN 0-309-06066-4.
- Wöhr Auto Parksyste – <http://www.parkingsystems.de/engl/source/frameset.htm>.
- Capitals ITTS – <http://www.eu-capitals.net/>
- E-Parking – <http://www.ifi.unizh.ch/dbtg/Projects/E-Parking/>
- Radarnet – <http://www.radarnet.org/>
- Stadtinfo Cologne Traffic and Parking Data System – <http://www.roadtraffic-technology.com/projects/stadtinfo/index.html>
- Tecapsy – <http://www.clickparking.com/> ; <http://www.tecapsy.com/>
- Telepay – <http://www.ertico.com/activiti/projects/telepay/home.htm>