

Simulación de distintas reglas de asignación de aparcamientos en un parking



Simulation of different assignment rules in a parking

• José Guadix-Martín
• Luis Onieva-Giménez
• M^º del Carmen Delgado-Román
• Alejandro Escudero-Santana

Dr. Ingeniero Industrial
Dr. Ingeniero Industrial
Ingeniero Telecomunicación
Ingeniero Telecomunicación

Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla
Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla
Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla
Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla

Recibido: 01/12/08 • Aceptado: 20/04/09

ABSTRACT

- Yield Management consists of matching supply and demand by promoting changes on prices and stock management, so the profits are maximized. Since it enhances the importance of the service industry's companies, this technique turns out to be very important. It aims to sell the correct unit on stock to the correct customer at the appropriate time. The problem to solve is similar to a capacity distribution problem without stock, mainly because the units on stock are perishable. In this paper different reservation systems are simulated in a parking. This simulation is a novelty in literature dealing with parking management. A methodology to determine whether a request is accepted or rejected when a driver arrives must be defined and given to the sales manager. Analysis of incomes, occupancy and efficiency rates have been calculated to check which assignment rule presented better results.
- **Key words:** Parking, perishable stock, simulation, assignment rules.

RESUMEN

La mayoría de las actividades del sector servicios se caracterizan por la simultaneidad en la producción y el consumo del servicio prestado, careciendo de un procedimiento de almacenamiento del producto como en el sector industrial. Este sector combina una capacidad constante de oferta del servicio con una demanda variable del mismo, lo cual genera un problema de optimización del uso de los recursos disponibles cuya solución permitiría obtener el máximo beneficio de las empresas. Para llevar a cabo esta tarea se introduce un sistema que gestiona los recursos de la empresa llamado *Yield Management*, con el propósito de inducir a las compañías a vender la unidad correcta de inventario al tipo de cliente adecuado, en el instante preciso y al precio conveniente. El objetivo de este trabajo ha sido estudiar una nueva forma de simular distintos modelos de asignación de inventario, plazas de aparcamiento, aproximándose lo más posible al funcionamiento real de un parking,

con el consecuente análisis de distintos indicadores, como la tasa de ocupación, eficiencia y los ingresos que se obtienen con cada uno de los modelos, con el objetivo final de compararlos y decidir cuál es la mejor alternativa para la gestión del parking.

Palabras clave: Aparcamientos de coches, inventario perecedero, simulación, reglas de asignación.

1. INTRODUCCIÓN

En el sector de servicios, a diferencia del sector industrial, la mayoría de las actividades que lo componen se caracterizan por la simultaneidad en la producción y el consumo del servicio prestado. Por ejemplo, en el caso de un parking, si nadie aparca en una de sus plazas durante un período de tiempo determinado esta disponibilidad de aparcamiento no se podrá utilizar en una etapa de tiempo posterior. Es decir, no se dispone de un procedimiento de almacenamiento del producto, en este

caso las plazas, como en el sector industrial. Se define *Yield Management* como un sistema que gestiona los recursos de una empresa ayudando a las empresas de servicios a vender la correcta unidad de inventario a la clase de cliente adecuado, en el instante preciso y al precio conveniente (Smith et al., 1992). Esta técnica conduce a que las categorías de inventario similares se ajusten a la demanda existente para maximizar los ingresos.

Las técnicas *Yield Management* son apropiadas cuando se dan las siguientes circunstancias (Kimes, 2000):

- La empresa está operando con una capacidad fija: son empresas que no pueden adaptar con rapidez su capacidad para hacer frente a cambios eventuales de demanda. Si todas las plazas de un parking o asientos de un avión están ocupados es difícil admitir a un nuevo cliente, habría que enviarlo a otro parking o facilitarle billete para un vuelo posterior.

- La demanda puede ser claramente segmentada en conjuntos diferenciados: la empresa debe poder segmentar el mercado en diferentes tipos de clientes. Las compañías aéreas distinguen a los clientes en función de su grado de sensibilidad a un cambio en el precio por un cambio en el servicio y desarrollan distintas estrategias siguiendo este criterio. En el parking se ofrecerán precios en función del uso por cercanía, trabajo, etc.

- El inventario es perecedero: toda aquella unidad de inventario que no se venda se pierde, ya que no es posible almacenarla. Toda plaza de aparcamiento libre es un dinero perdido. Si una compañía es capaz de minimizar este inventario caducado, obtendrá mayores beneficios.

- El producto se puede vender por adelantado: estas empresas disponen de sistemas de reservas, por lo que las unidades de inventario se pueden vender antes de su uso. El sistema permite a la empresa operar con mayor seguridad puesto que podrá conocer que su capacidad podrá ser usada en un futuro.

- La demanda fluctúa suficientemente: ante cambios de demanda la empresa potencia el uso del servicio en las épocas de baja demanda (bajando precios) o los ingresos cuando la demanda es elevada (incrementando los precios). En distintas horas del día el parking tiene distintas demandas.

- Los costes marginales de venta son bajos y los posibles costes de adición de capacidad extra son altos: el coste de vender una unidad adicional de inventario debe ser bajo, mientras que el coste marginal de inversión para el incremento de capacidad debe ser alto.

Las técnicas de *Yield Management* ayudan tanto en la toma de decisiones como en el modo de conseguir que las categorías de inventario similares se ajusten a la demanda existente, para así maximizar los ingresos o beneficios. En definitiva, el problema se reduce a cuánto, a qué precio y cuándo se debe vender cada unidad en cada segmento de mercado.

Los sectores que cumplen con estos requisitos y por tanto en los que más se aplican las técnicas *Yield Management* son el transporte aéreo, los hoteles, las empresas de alquiler de coches (Caroll y Grimes, 1995 o Geraghty y Jonson, 1997) y los centros de convenciones (McGill y Van Ryzin, 1999). Otros sectores en los que se comienza a utilizar son el transporte ferroviario (Ciancimino et al. 1999), los aparcamientos (Teodorovic, 2006), cruceros, teatros, y museos.

2. MÉTODOS

Un sistema *Yield Management* se puede dividir en tres módulos relacionados (Figura 1). El primero de previsión de la demanda, donde con un histórico de datos que reflejen el nivel de ocupación pasado, se pueda prever los conductores futuros (clientes) a corto plazo. Estas previsiones se usan como dato para el segundo módulo, una aplicación de los modelos de capacidad, tratándose de distribuir esta cantidad prevista entre las distintas categorías bajo la capacidad horaria del aparcamiento. Por último, se realiza el modo de venta de las plazas, el sistema de reservas. Hay que definirle al encargado de ventas una metodología para determinar, ante la llegada de un conductor, si se acepta o se rechaza la petición.

Una vez expuesto el funcionamiento de los módulos de un sistema *Yield Management*, se continúa explicando cada uno de ellos con más profundidad, centrándose el trabajo en el módulo de asignación de reservas, donde la simulación

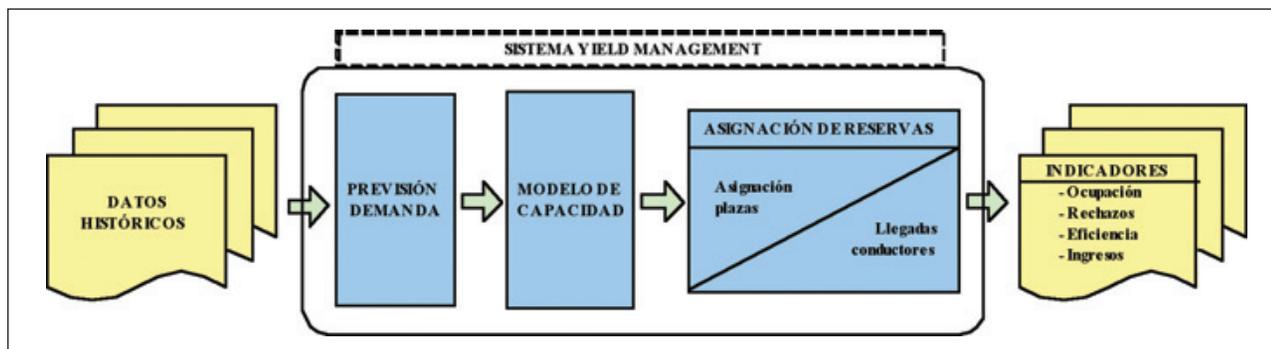


Figura 1. Componentes del sistema *Yield Management*

de distintas metodologías de asignación ha sido la principal novedad.

2.1. PREVISIÓN DE LA DEMANDA DE LOS CLIENTES

La importancia de la previsión de la demanda de los clientes en las empresas del sector servicios surge de la incertidumbre asociada con una magnitud futurible. Se necesita una previsión ajustada para ayudar en la toma de decisiones estructurales, también llamadas decisiones a largo plazo. Estas decisiones repercuten en la estrategia de la empresa, y en el sector de aparcamientos podría implicar la construcción de un nuevo parking o la remodelación de uno ya existente.

Además, la gestión de un parking debe incluir un sistema de previsión a corto plazo, donde con datos históricos, que reflejen la ocupación pasada, se pueda prever el futuro a corto plazo, Makridakis y Wheelwright (1997). De esta forma, es posible la mejora en la gestión a corto plazo, ya que se puede planificar mejor el día a día. Los métodos de previsión normalmente utilizados en el sector servicios se pueden clasificar en tres grandes conjuntos, Lee (1990): los históricos, las reservas y los híbridos (Figura 2).



Figura 2. Clasificación de los métodos de previsión Fuente: Lee (1990)

Los métodos de previsión históricos se refieren a que, basados en un histórico de datos que reflejan la ocupación pasada, se puedan prever los clientes futuros a corto plazo. En el proceso de la previsión de clientes se tienen unas reservas ya realizadas, como pueden ser los abonados, y unos conductores que llegarán en instantes futuros. Estos últimos deben ser estimados. Poco se ha investigado sobre el mejor método de previsión que se debe aplicar. Investigaciones en líneas aéreas y en la industria hotelera

muestran que, según la empresa y su situación, unos métodos se comportan mejor que otros. Al necesitar los modelos *Yield Management* las previsiones desagregadas por categorías, los métodos ofrecen por cada categoría unos resultados más exactos si se realizan las previsiones desagregadas, a que si se realizasen las previsiones de la demanda global de la compañía de forma agregada y posteriormente se desagregasen, Weatherford y Kimes (2003).

En los métodos basados en las reservas, se intenta descomponer el patrón de comportamiento de las observaciones en diferentes subpatrones, que identifican de un modo separado cada componente de las series temporales. Las previsiones que usan las reservas intentan identificar dos componentes, una componente cíclica y una componente estacional. El subpatrón estacional está relacionado con las variaciones periódicas de una misma duración. La tendencia cíclica representa los cambios a largo plazo en las series.

Por último, los métodos híbridos, donde se explica la dependencia de una variable respecto de una o varias variables cuantitativas independientes. En nuestro trabajo éstos han sido los que han mostrado mejores resultados, dado que involucran la parte histórica de las estancias y las reservas que se van produciendo.

Estos métodos son aplicables a cualquier establecimiento de aparcamientos, ya que, para un histórico de datos diferente, se puede determinar sin mayor dificultad qué método se adapta mejor a las circunstancias que rodean las tasas de ocupación de cada parking.

2.2. MODELO DE CAPACIDAD

En este punto del sistema se han propuesto varios modelos de capacidad del parking. El primer problema consiste en optimizar los beneficios finales del aparcamiento teniendo en cuenta la limitación de capacidad del mismo y la demanda variable, tanto de conductores individuales como de abonados. Este primer modelo proporcionará el número de plazas de aparcamiento de cada categoría y el número de abonados que se deben ofrecer para obtener el máximo beneficio.

Los grupos de abonados necesitan un trato diferente al de los conductores individuales. Un grupo es un conjunto de conductores que tiene alquilada una plaza de aparcamiento para el mismo plazo de tiempo (durante las mismas horas). Debido a esta característica, su aceptación o no, se debe tratar de forma diferente a los conductores individuales. Además, la manera de contratar un servicio suele ser mediante vía telefónica o a través de reserva de plazas por Internet. Trabajaremos con tres tipos de abonos:

1. Abono diario, alquiler de una plaza de aparcamiento para una estancia de un día.
2. Abono semanal, cinco días laborables, de lunes a viernes, alquiler de una plaza de aparcamiento para una estancia de cinco días.

El primer problema consiste en optimizar los beneficios finales del aparcamiento teniendo en cuenta la limitación de capacidad del mismo y la demanda variable

3. Abono mensual (30 días), alquiler de una plaza de aparcamiento para una estancia de 30 días.

Para hacer el planteamiento del problema de gestión de recursos se considera necesario conocer:

- N : el número de días en los que se pretende optimizar. Con este valor, se obtiene el número de horas (H) con el que se trabajará.
- C : el número de categorías individuales, con precios distintos, en las que se segmenta el aparcamiento. Estas categorías serán: conductores normales, residentes y comerciantes.
- p_j : los precios para las distintas categorías individuales del parking, donde j varía entre 1 y C
- E_j : el número máximo de horas de estancia del coche en el parking para cada franja horaria de conductores individuales j .
- d_{ijk} : las demandas esperadas para cada hora i , categoría j y número de horas de estancia k , donde i varía entre 1 y H , y k varía entre 1 y E_j .
- b_i : las capacidades horarias del aparcamiento, donde i varía entre 1 y H .

Además se considera como base de partida que se dispone de los siguientes datos adicionales para los grupos de abonados:

- N_g : el número abonados que ofrece el aparcamiento. Estos pueden ser: abono diario, abono de cinco días y abono mensual. Según el abono que soliciten, habrá tres tipos de grupos de abonados.
- c_g : el precio total por componente de cada tipo de grupo de abonados, donde g varía entre 1 y N_g .
- λ_g : la duración en días de estancia de cada tipo de grupo de abonados.
- σ_g : el tamaño de cada grupo de abonados.
- i^* : el día de llegada de cada grupo de abonados.

Las variables del problema son las plazas del aparcamiento a alquilar cada hora, en cada categoría y para cada número de horas de estancia (x_{ijk}). Para cada una de estas variables habrá un determinado precio (p_{ijk}) para cada categoría. Dichas variables han de ser enteras, al solo poderse vender una plaza de aparcamiento y no parte de ella. Después se vuelven a relajar estas variables enteras a continuas, obteniéndose entonces el problema lineal mixto.

Las variables discretas, que son binarias, serán x_g e indican si se debe o no aceptar a los abonados de las características anteriores.

Matemáticamente se puede plantear el problema, teniendo en cuenta tanto a los conductores individuales como a los abonados, a partir de maximizar los beneficios totales del aparcamiento. Los beneficios se obtienen a través de la venta de los recursos:

(1)

$$\text{Max} \sum_{i,j,k} x_{ijk} p_j k + \sum_{g=1}^{N_g} \lambda_g c_g \mu_g x_g$$

Al asumir un límite de capacidad horaria:

(2)

$$\sum_{i \leq i} \sum_{i < j} \sum_k x_{ijk} \leq b_i \quad \forall i \notin \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\}$$

$$\sum_{i \leq i} \sum_{i < j} \sum_k x_{ijk} + \mu_g x_g \leq b_i \quad \forall i \in \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\}$$

Como se puede ver, habrá horas en los que se tengan sólo conductores individuales y otros en los que además se tenga uno o varios grupos de abonados.

Al tener en cuenta que no se puede vender por encima de la demanda de conductores individuales esperada:

(3)

$$0 \leq x_{ijk} \leq d_{ijk} \quad \forall i, j, k$$

De las ecuaciones generales, (1) a (3), el modelo completo queda como sigue:

(DGP)

$$\text{max} \quad \sum_{i,j,k} x_{ijk} p_j k + \sum_{g=1}^{N_g} \lambda_g c_g \mu_g x_g$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i \leq i} \sum_{i < j} \sum_k x_{ijk} \leq b_i \quad \forall i \notin \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\}$$

$$\sum_{i \leq i} \sum_{i < j} \sum_k x_{ijk} + \mu_g x_g \leq b_i \quad \forall i \in \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\}$$

$$0 \leq x_{ijk} \leq d_{ijk}$$

$$x_{ijk} \text{ entera (o continua)}$$

$$x_g \in \{0, 1\}$$

Como se puede intuir, este problema de programación lineal con variables enteras tiene una solución complicada. Se plantea una relajación que ya se refleja en el modelo de

la ecuación denominado DGP (*deterministic group problem* o problema determinista con grupos), de las variables individuales enteras a continuas, con lo que se tiene un problema lineal mixto con unas variables continuas y otras binarias (MILP). Tras su resolución, todas las variables continuas de conductores individuales resultan enteras, por lo que la relajación no necesita ninguna aproximación posterior, el problema es unimodular. Este problema es determinista, dado que se resuelve el modelo considerando los datos de las previsiones de demanda de clientes como números fijos.

En realidad se podría dar un número mayor de peticiones que el previsto, con lo que se puede llegar a un número de conductores superior al esperado. Es un factor que incrementaría el beneficio si las categorías más caras presentan la posibilidad de admitir más conductores de los previstos en un principio. Este modelo se denomina estocástico, es decir, el dato de previsiones de demanda será un valor que puede oscilar entre distintos valores. Fue presentado para el sector aéreo por De Boer *et al.* (2002), solo con la posibilidad de clientes individuales. Se asume que las demandas d_{ijk} tienen diferentes escenarios en los que pueden ocurrir, que se representan por r , indicando el último subíndice el escenario posible de peticiones de clientes que el aparcamiento se puede encontrar.

Los nuevos parámetros en el modelo de demanda estocástica son $d_{ijk,r}$ es la demanda esperada en el escenario r para conductores que lleguen la hora i , y finalicen la estancia la hora j , con una categoría k . Las variables serán $x_{ijk,r}$ el número de servicios para una llegada la hora i y salida la hora j , $i < j$, en la categoría k y para un posible escenario r . El modelo resultante, denominado SGP (*stochastic group problem* o problema estocástico con grupos), es:

(SGP)

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^S \sum_{j=i+1}^S (j-i) \cdot c_k \cdot \Pr(D_{jk} \geq d_{jk,r}) \cdot x_{jk,r} + \lambda_g c_g \mu_g x_g \\ \text{s.a.} \quad & \sum_{i=1}^S \sum_{k=1}^K \sum_{j=i+1}^S x_{ijk,r} \leq b_i \quad \forall i \in \{1^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \\ & \sum_{i=1}^S \sum_{k=1}^K \sum_{j=i+1}^S x_{ijk,r} + \mu_g x_g \leq b_i \quad \forall i \in \{1^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \\ & x_{ijk,l} \leq d_{ijk,l} \\ & x_{ijk,r} \leq d_{ijk,r} - d_{ijk,r-1} \quad \forall r=2, \dots, S \\ & x_{ijk,r} \geq 0 \text{ entera} \\ & x_g \in \{0,1\} \end{aligned}$$

Las variables $x_{ijk,r}$ representan la parte de demanda perteneciente al intervalo i . Nótese que $x_{ijk,r}$ es distinta de cero si y solo si $x_{ijk,r-1}$ ha alcanzado el límite $d_{ijk,r-1}$, es decir $r=2$. Debe cumplirse como restricción que la suma de las variables $x_{ijk,r}$ ofertadas en los S escenarios posibles de

cada día sea menor que la capacidad permitida ese día.

El modelo determinista, DGP, consistiría en resolver este mismo modelo SGP considerando un solo escenario. Un escenario se tiene presente si la demanda originada es mayor que el nivel de demanda prevista del escenario anterior. Para cada escenario el nivel de demanda es $d_{ijk,r}$, con una probabilidad de que el escenario ocurra p_r . La probabilidad de cada escenario posible debe fijarse previamente. Se puede definir la demanda del escenario medio como la esperada y los niveles de los escenarios extremos por un incremento o decremento en n veces la desviación típica.

2.3. ASIGNACIÓN DE RESERVAS

Tras la previsión de conductores y el modelo de capacidad, en la realidad suele ocurrir que el número de clientes previstos y distribuidos en cada categoría no es el que se producirá. Las llegadas de conductores se van produciendo con distintas pautas de comportamiento, según sea el día y hora. Debido a estas características se estudiarán distintas formas de asignación de inventario ante unas llegadas de conductores simuladas. Es importante el método utilizado para simular las llegadas de clientes. Se opta por unas llegadas no homogéneas descritas por una distribución de Poisson que son las que se pueden asimilar más a la realidad, Lewis y Shedler (1979), que tendrá una tasa de llegada diferenciada cada hora y cada día de la semana. El horizonte temporal de la simulación se ha fijado mensual.

La distribución de estos recursos, es decir, de las plazas del parking, se lleva a cabo en función de tres categorías de clientes:

- Conductores normales, se trata de usuarios estándar que no tendrán ningún tipo de disminución en el precio ni restricciones en el horario de llegada.
- Conductores residentes, son usuarios que tienen su residencia en las cercanías del aparcamiento y que han rellenado una solicitud para la obtención de una tarjeta que acredite dicha condición. Esta tarjeta les permite tener un descuento en la tarifa del parking respecto a los clientes normales. El horario de llegada de estos usuarios será acorde con su condición de residentes, siendo más probable que lo use por la tarde y por la noche.
- Conductores comerciantes, se trata de clientes que tienen su lugar de trabajo cerca del parking y que al igual que los residentes, han solicitado una tarjeta para beneficiarse de una reducción en el precio. Su tarifa será inferior a la de los clientes normales y residentes. Su horario de llegada coincidirá con el de los comercios.

Para la simulación del sistema se ha utilizado el software Arena 11 (Rockwell Software), que combina la facilidad de uso de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación, Law (2006). Se

trata de una herramienta “Orientada al Proceso”, Kelton et al. (2001), por cuanto permite la descripción completa de la experiencia que una entidad desarrolla en el interior del sistema conforme fluye a través de él.

La asignación de las plazas del aparcamiento se hará conforme a tres métodos de asignación:

FC-FS (*First come - First serve*). Este primer método asigna cada unidad de inventario a cada cliente en función del orden de llegada, el primero que llega es el primero en ser atendido. De esta forma se irán vendiendo las distintas unidades de inventario hasta que se alcance la capacidad diaria. La diferencia con el resto de los algoritmos es que no utiliza ningún método de previsión de clientes ni ninguna distribución previa de las unidades de inventario. Este método se usará como nivel de referencia respecto a los siguientes. En las sucesivas figuras se distingue el inventario en tres categorías N (Normales), R (Residentes) y C (Comerciantes), las cuáles van llegando a un parking de 126 plazas de capacidad. En este caso la asignación de las plazas se hace por orden de llegada, de forma que primero llegan dos clientes normales, luego vienen cuatro residentes, tres comerciantes y así sucesivamente hasta completar las 126 plazas del aparcamiento.

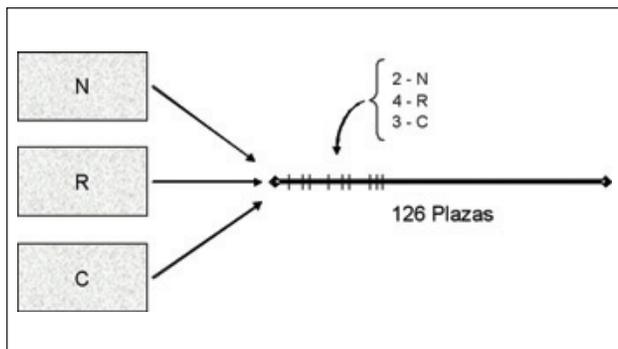


Figura 3. Método FC-FS

DISTINCT. En este algoritmo se tiene como dato la cantidad de unidades de inventario disponible para cada categoría. Para la obtención de este dato se puede plantear un problema de programación lineal que optimice los beneficios obtenidos.

Con este dato se divide la capacidad global diaria en distintas categorías. Cada una de estas categorías solo se podrá ocupar por un cliente de sus características. Al darse el caso de llegar al máximo de la capacidad disponible para dicha categoría, ésta se cierra. Para nuestro caso particular, asignaremos un número fijo de plazas para los conductores normales, otro para los residentes y otro para los comerciantes.

Por otro lado, también podemos añadir restricciones de horario, de modo que durante el día el número de plazas asignadas a los comerciantes sea considerablemente mayor

que las destinadas a los residentes, mientras que por la noche tengamos el caso contrario.

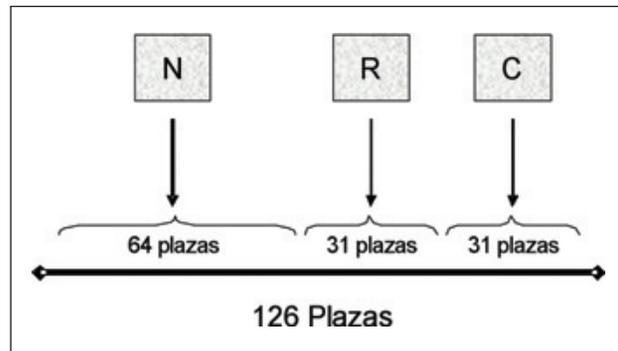


Figura 4. Método Distinct

ANIDADADO. El principio de este método es el mismo que el anterior, con la salvedad que en este caso se prioriza al cliente que realiza un desembolso económico mayor, es decir, una vez que una categoría llega a su máxima capacidad, podrá usar las unidades de inventario de otras categorías siempre que su tarifa sea mayor que la de éstas. Extrapolado a nuestro caso, implica que una vez que el número de plazas asignadas a los clientes normales esté llena, éstos podrán aparcar en las plazas asignadas a los residentes y comerciantes siempre que haya alguna libre. El caso contrario no será posible, es decir, los usuarios residentes y comerciantes nunca podrán aparcar en las plazas reservadas a los clientes normales.

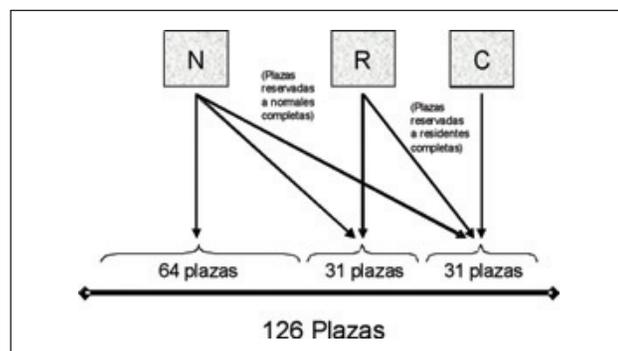


Figura 5. Método Anidado

3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Se ha construido una animación en tres dimensiones que permite visualizar el comportamiento del sistema. El escenario de simulación consiste en un aparcamiento en superficie de tres plantas, cada una de las cuales dotada de 42 plazas. Para la construcción de este escenario se ha

Es importante el método utilizado para simular las llegadas de clientes. Se opta por unas llegadas no homogéneas descritas por una distribución de Poisson que son las que se pueden asimilar más a la realidad, Lewis y Shedler (1979), que tendrá una tasa de llegada diferenciada cada hora y cada día de la semana.

utilizado la herramienta *Arena 3DPlayer* (*Rockwell Software*), que permite crear animaciones tridimensionales para los modelos de simulación de Arena, como se observa en las figuras.

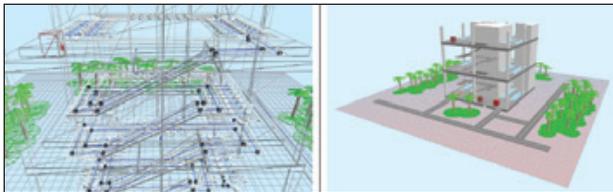


Figura 6. Vista de la construcción del aparcamiento y presentación final

Cuando los coches entran en el parking, se dirigen hacia el cruce de entrada de la planta baja. Si la planta baja está llena, los usuarios subirán por las rampas hasta la planta primera, en la que la lógica de simulación será equivalente. Al igual que en la segunda planta, con la salvedad que en este caso si el coche ha llegado hasta arriba es porque hay al menos una plaza libre en la que puede aparcar.

Los automóviles permanecerán aparcados un tiempo que vendrá dando por una distribución Normal, cuya media y desviación típica tomarán uno u otro valor en función de la categoría de usuario que se trate.

Una vez que un coche abandona la plaza en la que se encontraba estacionado, se dirigirá directamente hacia la salida del parking, pero siempre respetando el sentido de la circulación. Cabe decir que las en las rampas y en el carril frontal, habrá doble sentido de circulación. En las siguientes figuras se puede observar esto.



Figura 7. Sentidos de circulación planta baja y pago

Antes de salir del parking el coche se detiene en “Pago”, lugar en el que el conductor procede al abono de la cantidad que le corresponda. Se ha modelado una tarificación por minutos cuyos precios variarán en función del horario y de la categoría de cliente. La siguiente tabla muestra las tarifas que tendrá el aparcamiento por minuto.

Tabla 1. Tarifas del aparcamiento por minutos

Categoría	Franja Horaria	Precio (€/min)
Normal	Cara	0.025
	Barata	0.02
Residente	Cara	0.02
	Barata	0.016
Comerciante	Cara	0.016
	Barata	0.01

Se han utilizado dos franjas horarias, cara y barata, la franja horaria cara va desde las 08:00 hasta las 14:00 horas y desde las 16:00 hasta las 19:00 horas, que se corresponden con horas en las que la demanda de plazas en el aparcamiento es grande. La franja horaria barata comprende el resto de las horas: desde las 00:00 hasta las 08:00 horas, desde las 14:00 hasta las 16:00 horas y desde las 19:00 hasta las 24:00 horas. Estos datos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Franjas horarias

Franja Horaria	Horario
Cara	08:00 - 14:00 y 16:00 - 19:00 horas
Barata	00:00 - 08:00, 14:00 - 16:00 y 19:00 - 24:00 horas

4. RESULTADOS

Para la obtención de los resultados, se ha utilizado la interfaz VBA de *Arena* que permite generar ficheros donde se almacenan los datos de salida. A partir de estos ficheros se ha generado en el trabajo una serie de indicadores,

mostrados en gráficos que permiten analizar los datos obtenidos. Los análisis realizados son:

4.1 ANÁLISIS DE LA OCUPACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS DISTINTAS CATEGORÍAS

Se ha estudiado cómo se distribuyen las plazas entre las tres categorías de usuarios para cada uno de los modelos de asignación implementados. Se han considerado dos escenarios, uno en temporada baja, como pueden ser los meses de Julio y Agosto, que se denomina tipología baja y que corresponde a periodos de tiempo con menor afluencia de clientes y otro para el resto del año que se denomina tipología alta y que corresponde a periodos de tiempo de alta afluencia de coches.

Análisis de la ocupación para el método FC-FS

A continuación se presenta una gráfica en la se puede observar la ocupación del aparcamiento para un día laboral, en función de las distintas categorías de conductores, a lo largo de 24 horas. Se realizaron dos análisis, uno para tipología alta y otro para tipología baja.

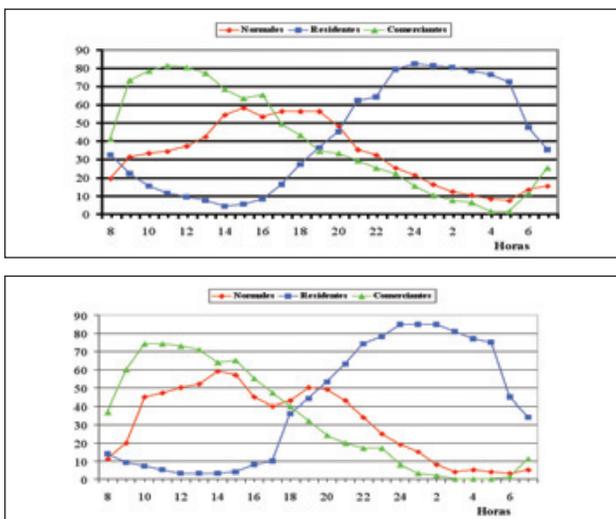


Figura 8. Ocupación del aparcamiento con el método FC-FS en tipologías alta y baja

En la tipología alta (izquierda) se observa que por la mañana el aparcamiento estará ocupado en mayor medida por los usuarios comerciantes, al medio día y por la tarde por los normales, y será por la noche cuando los conductores residentes estacionarán en mayor medida sus vehículos. En la tipología baja (derecha) para los días laborales, se produce una ligera disminución en la ocupación del aparcamiento.

Análisis de la ocupación para el método DISTINCT

Los resultados obtenidos en la tipología baja en cuanto a los perfiles de clientes son similares a los de la tipología alta, por lo que solo se presentarán éstos últimos.

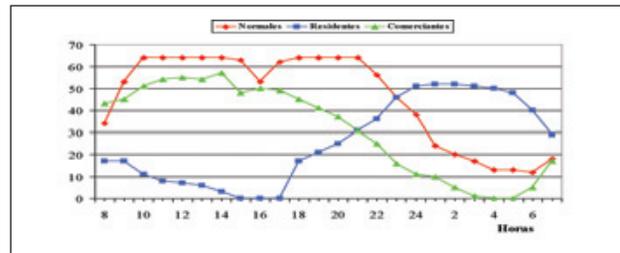


Figura 9. Ocupación del aparcamiento con el método DISTINCT

Se observa que serán los coches de la categoría normal los que ocuparán principalmente el aparcamiento. En este modelo serán los que tengan asignados una mayor proporción de la capacidad, 64 plazas en concreto. Se aprecia que a medio día se producirá una bajada de la ocupación ligada a la menor actividad que se produce en este horario. En segundo término estarán los conductores comerciantes y residentes. Los primeros ocuparán las 31 plazas que tienen asignadas durante la mañana y parte de la tarde, mientras que los segundos lo harán a última hora de la tarde y por la noche.

Análisis de la ocupación para el método ANIDADO

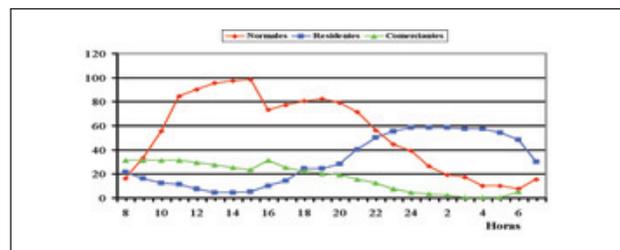


Figura 10. Ocupación del aparcamiento con el método ANIDADO

Se observa que serán los coches de la categoría normal los que ocuparán principalmente el aparcamiento. Esto era de esperar, ya que en este modelo serán los que tengan mayor prioridad, pudiendo aparcar en las plazas reservadas a residentes y comerciantes. Se aprecia que al medio día se producirá una bajada de la ocupación ligada a la menor actividad que se produce en este horario. En segundo término estarán los conductores comerciantes y residentes. Los primeros ocuparán las 31 plazas que tienen asignadas durante la mañana y parte de la tarde, mientras que los segundos lo harán a última hora de la tarde y por la noche, pudiendo ocupar las plazas destinadas a los comerciantes.

4.2. ANÁLISIS DE LA OCUPACIÓN TENIENDO EN CUENTA LA TASA DE RECHAZO Y LA TASA DE EFICIENCIA

Se compararon cada uno de los métodos en función de una serie de parámetros, como son la tasa de rechazo y la eficiencia.

A continuación se presenta una gráfica en la que se puede observar la tasa de rechazo y tasa de eficiencia del aparcamiento para un día laboral, en función de los distintos modelos de asignación de plazas, a lo largo de 24 horas.

Se aprecia que el método que presenta una mayor tasa de rechazo es el FC-FS. Posteriormente se sitúan los

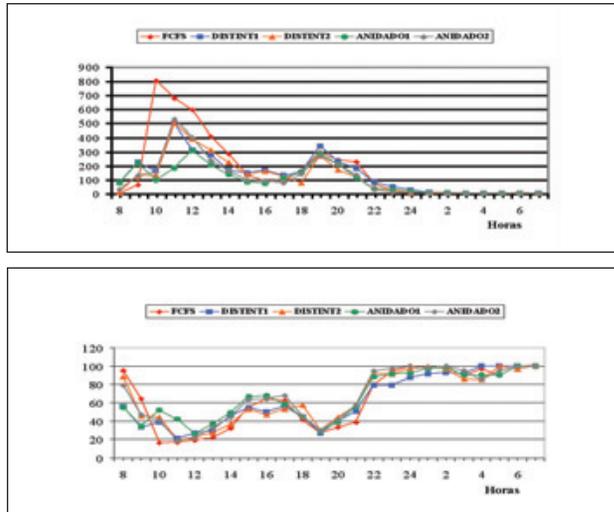


Figura 11. Tasa de rechazo y tasa de eficiencia en los métodos utilizados

modelos distinct. Los métodos que presentan una tasa de rechazo menor son, como se observa en la gráfica, el anidado. En esta figura se han incluido dos métodos distinct y otros dos anidados, diferenciándose en los resultados obtenidos en los modelos de capacidad, al aplicar el método DGP o el SGP para el 1 o el 2 respectivamente.

Por otra parte, se puede apreciar que en general la tasa de rechazo tomará valores más altos a primeras horas de la mañana y por la tarde, siendo a medio día y en mayor medida por la noche cuando tomará menores valores. Por la noche la tasa de rechazo será nula para todos los métodos.

Respecto a la eficiencia, el comportamiento diferirá entre el día y la noche. Durante el día, los modelos que presentan una eficiencia más alta es el anidado. A continuación se sitúan los métodos distinct. El modelo FC-FS es el que presenta una menor eficiencia durante el día, no obstante en momentos puntuales, como a mediodía, supera al método distinct. En cuanto a las horas nocturnas, se obtienen las mayores tasas de eficiencia, siendo el modelo anidado el que presenta los mayores valores, seguido por el FC-FS y el distinct.

4.3. ANÁLISIS DE LOS INGRESOS DEL APARCAMIENTO

Se comparó cada método para ver cuál permitía obtener unos ingresos mayores. Se estudió cómo varían los ingresos a lo largo de una semana y a lo largo de un mes, comparando cada uno de los modelos de asignación de recursos.

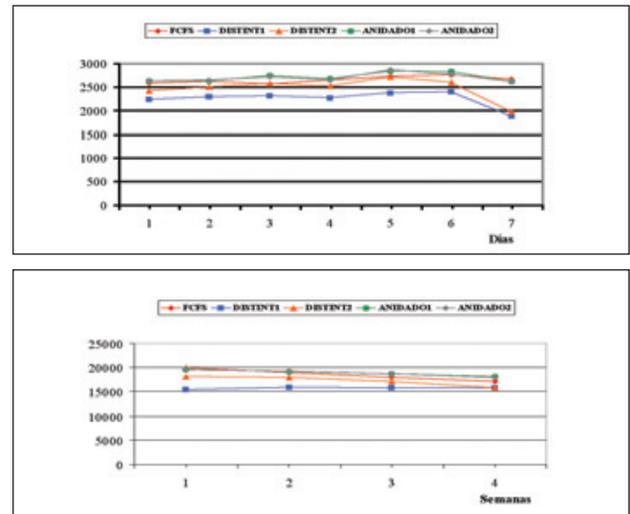


Figura 12. Ingresos diarios a lo largo de una semana y semanales en un mes

En la figura de los ingresos diarios se aprecia que los métodos que presentan unos mayores ingresos a lo largo de la semana, como era de esperar, son el anidado. Posteriormente se encuentra el FC-FS, que obtiene muy buenos ingresos los fines de semana, lo cual es lógico, ya que es cuando se producen menos llegadas de los conductores comerciantes, que son los que tienen la tarifa menor. A continuación, se sitúa el método distinct. Se observa que este último método sufre una bajada considerable de los ingresos los fines de semana, debido a la disminución de usuarios comerciantes, en especial el domingo, cuando habrá ausencia total de estos clientes al ser un día no laboral.

En los ingresos semanales se aprecia que los métodos que presentan unos mayores ingresos a lo largo de un mes es el anidado. Posteriormente se encuentra el FC-FS. A continuación, se sitúa el método distinct el que presenta los peores resultados económicos.

5. DISCUSIÓN

Este trabajo se ha centrado en la mejora de la gestión de empresas del sector servicios, empresas caracterizadas por disponer de un inventario perecedero, servicio ofertado, y una posibilidad de venta o reserva con antelación. Para ello se ha particularizado la técnica *Yield Management* al sector de aparcamientos, aplicación novedosa en cuanto existen muy pocos trabajos aplicados a los parkings.

En concreto se han expuesto tres heurísticas diferentes de asignación de plazas de aparcamiento para distintos tipos de conductores, considerados normales, residentes o comerciantes. Se han analizado bajo el prisma de la tasa de ocupación, el nivel de rechazos y la tasa de eficiencia del gestor del aparcamiento. A la vista de estos resultados obtenidos, junto con los ingresos del aparcamiento, se

concluyó que el método de asignación de plazas anidado, en la mayor parte de las hipótesis estudiadas, consiguió los mayores ingresos. A continuación se situó el método de asignación FC-FS, aunque éste consiguió los mayores ingresos totales para tipología baja. Por último se encuadró el método distinct, que no consiguió superar a los anteriores en ningún caso y que presentó unos ingresos considerablemente inferiores. Ello demuestra, con las experiencias computacionales realizadas, que el módulo del modelo de capacidad donde se distribuyen las unidades de inventario entre las distintas categorías es necesario y apropiado para una mejor gestión de los servicios ofrecidos.

Sin embargo se podría plantear un método mixto para su uso diario, que a unas horas el parking funcione bajo una heurística y a otras con otra diferente, dependiendo del comportamiento de los conductores. Experiencias de este tipo se están comenzado a aplicar en la gestión de aparcamientos de algunos lugares del mundo, cómo el situado en la zona portuaria de la ciudad de San Francisco (EEUU).

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero que el *Ministerio de Educación y Ciencia* presta a esta línea de investigación para la colaboración de las *Universidades: Carlos III, Politécnica de Madrid, Oviedo y Sevilla* en el proyecto coordinado ref. DPI2005-09132-C04-00.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Carroll W, Grimes R. Evolutionary Change in Product Management: Experiences in the Car Rental Industry. *Interfaces*. 1995, Vol.25 p.84-104.
- Ciancimino A, Inzerillo G, Lucidi S et al. A Mathematical Programming Approach for the Solution of the Railway Yield Management Problem. *Transportation Science*. 1999, Vol.33-2 p.168-181.
- De Boer SV, Freling R, Piersma N. Mathematical Programming for Network Revenue Management Revisited. *European Journal of Operational Research*. 2002, Vol.137 p.72-92.
- Geraghty MK, Johnson E. Revenue Management Saves National Car Rental. *Interfaces*. 1997, Vol.27-1 p.107-127.

- Kelton WD, Sadowski RP, Sadowski DA. *Simulation with Arena*. 2^a edición. McGraw-Hill, 2001. 631 p. ISBN: 978-00-711-3124-7.
- Kimes S. "A Strategic Approach to Yield Management". En: Ingold A, McMahon-Beattie U, Yeoman I (ed). *Yield Management: Strategies for the service industries*. London: Contium, 2000. p.3-14.
- Law AM. *Simulation Modeling and Analysis*. 4^a edición. McGraw-Hill, 2006. 800 p. ISBN: 978-00-712-5519-6.
- Lee AO. Airline Reservations Forecasting: Probabilistic and Statistical Models of the Booking Process. Cambridge: Ph.D. thesis Massachusetts Institute of Technology, 1990.
- Lewis PA, Shedler GS. Simulation of Nonhomogeneous Poisson Processes by Thinning. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1979, Vol.26 p.403-413.
- Makridakis S, Wheelwright SC, Hyndman RJ. *Forecasting: Methods and Applications*. 3^a edición. Wiley & Sons, 1997. 656 p. ISBN: 978-04-715-3233-0.
- McGill JI, Van Ryzin GJ. Revenue Management: research overview and prospects. *Transportation Science*. 1999, Vol.33-2 p.233-256.
- Smith BC, Leimkuhler JF, Darrow RM. Yield Management at American Airlines. *Interfaces*. 1992, Vol.22-1 p.8-31.
- Teodorovic D, Lucic P. Intelligent Parking Systems. *European Journal of Operational Research*. 2006, Vol.175 p.1666-1681.
- Weatherford LR, Kimes SE. A Comparison of Forecasting Methods for Hotel Revenue Management. *International Journal of Forecasting*. 2003, Vol.19 p.401-419.