

## Parking Revenue Management

**José Guadix Martín, Luis Onieva Giménez, María del Carmen Delgado Román,  
Alejandro Escudero Santana**

Dpto. de Organización de Empresas y Gestión de Empresas. Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla. [guadix@esi.us.es](mailto:guadix@esi.us.es), [onieva@esi.us.es](mailto:onieva@esi.us.es), [mdelgado@esi.us.es](mailto:mdelgado@esi.us.es), [aescudero@esi.us.es](mailto:aescudero@esi.us.es)

### Resumen

*El sector servicios goza de una importancia fundamental en la actividad empresarial, de aquí la trascendencia de analizar la gestión de las empresas que lo integra. El uso de la técnica Revenue Management es debida a que la mayoría de las empresas que lo integran presentan simultaneidad en la producción y consumo del servicio prestado, junto con la imposibilidad de almacenamiento del producto por ser perecedero. En este trabajo se analiza el caso de aplicación de la técnica a la gestión de aparcamientos, aceptando la posibilidad de conductores individuales y abonados, ambos segmentos necesarios en el funcionamiento de un parking debido a su diferente incertidumbre.*

**Palabras clave:** Revenue Management, Parking, Expert System, Simulación

### 1. Introducción

En los últimos años existe un incremento en el interés por el uso de las técnicas Revenue Management para poder maximizar los ingresos en actividades con restricciones de capacidad. La mayoría de las líneas características aportadas por esta técnica ya han sido utilizadas en diversos sectores. Empresas con productos perecederos, como carniceros, vendedores de frutas o empresarios de teatros, gestionan la demanda con variaciones de los precios en el tiempo. Tras la desaparición de la regularización aérea de los EEUU en 1978, cualquier compañía podía volar entre dos aeropuertos cualesquiera, a cualquier hora y con unas tarifas libres, Smith *et al.* (1992).

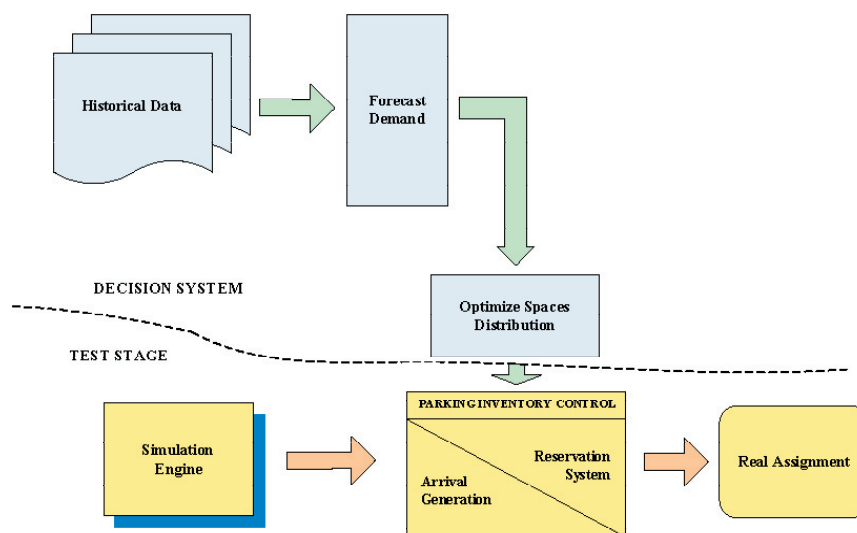
Revenue Management, trata de vender la correcta unidad de inventario, al cliente adecuado en el instante más propicio. El problema a resolver es equivalente a uno de distribución de capacidad con inventario nulo, principalmente por el carácter perecedero de las unidades de inventario. Para hacer posible su aplicación, las empresas necesitan cumplir seis requisitos, 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 aparcamiento están ocupados es difícil admitir a un nuevo conductor en ese instante, por lo que habría que indicarle otro parking.
- La demanda puede ser claramente segmentada en conjuntos diferenciados: la empresa debe poder segmentar el mercado en diferentes tipos de clientes. Las compañías de aparcamientos deben distinguir a los clientes en función de su grado de sensibilidad a un cambio en el precio por un cambio en los horarios del parking y desarrollar distintas estrategias siguiendo este criterio.
- El inventario es perecedero: toda aquella unidad de inventario que no se venda se pierde,

ya que no es posible almacenarla. Si una compañía es capaz de minimizar este inventario caducado, obtendrá mayores beneficios. Las plazas de aparcamiento libres en cada hora significarán dinero dejado de ganar en esa duración de tiempo.

- 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 de reservas permitirá al aparcamiento operar con mayor seguridad puesto que podrá conocer con antelación las plazas libres que podrán ser usadas 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 un aparcamiento urbano se diferenciará entre los días laborables y los festivos. Dentro de un mismo día también existirá mucha variación de demanda en el uso entre las horas diurnas y las nocturnas.
- 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. La comparación de una venta adicional de una hora de aparcamiento es baja comparada con la inversión para aumentar el tamaño del parking.

El sistema, en general, se puede dividir en tres módulos relacionados. 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 a corto plazo. Éstas previsiones se usan como dato para la 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 posible conductor, si se acepta o se rechaza la petición.



**Figura 1.** Esquema General del Sistema Experto

Una vez comparados diferentes sistemas de asignación de los clientes en función de las llegadas, se debe estimar el error de estas soluciones con respecto a la ideal, que se podría obtener si a priori se conociese el número exacto de peticiones de cada categoría que se van a producir. Para ello se incluye en el estudio una simulación de las llegadas de los clientes, Law y Kelton (2000),

donde se trata de mejorar el valor de la función objetivo dependiendo del método de asignación elegido.

## 2. Forecast Demand

La importancia de la previsión de la demanda de clientes en las empresas del sector servicios surge de la incertidumbre asociada a una magnitud futurible. La gestión de un aparcamiento debe incluir un sistema de previsión a corto plazo (previsiones con una duración entre el día y la semana). De esta forma es posible la mejora en la gestión a corto plazo, ya que se puede planificar mejor el día a día. Del mismo modo tiene una gran influencia sobre los conductores. Normalmente se pueden señalar dos tipos extremos de comportamiento, el conductor habitual y el esporádico. El conductor habitual planea su necesidad con bastante antelación y desea precios bajos. El esporádico dispone de menos tiempo para hacer su reserva y el precio no es un factor primordial. Si se realiza una buena previsión, junto con el modo de funcionamiento del sistema Revenue Management, permiten que la empresa pueda maximizar sus ingresos, consiguiendo también para los conductores un mayor grado de satisfacción y de adaptación a sus prioridades.

El procedimiento utilizado en la previsión de la demanda es un aspecto de relevante importancia en las herramientas de RM. Tiene una incidencia directa en el proceso de la asignación de inventario, por lo que cuanto más exacta sea la previsión mayor ventaja se obtendrá en la aplicación de las técnicas RM en el parking.

Los primeros estudios de previsión de demanda para clientes del sector servicios de una forma desagregada, es decir, predecir la demanda por unidades de tiempo y tipo de clientes, se realizaron en empresas del sector aéreo. Los diferentes métodos de previsión utilizados en este trabajo se pueden clasificar en tres grandes conjuntos, según se muestra en la figura 2.

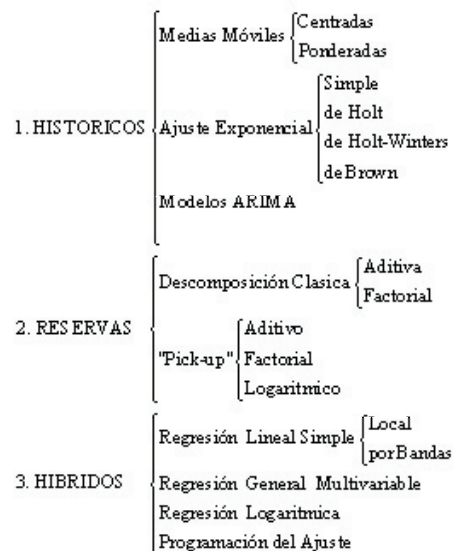


Figura 2. Clasificación de los métodos de previsión, Lee (1990)

Durante la predicción se ha considerado un escenario en el que se parte de unas observaciones previas como datos históricos, para calcular las inicializaciones del proceso. Conforme el tiempo va transcurriendo, se van calculando previsiones y se integran con las nuevas observaciones. De estas parejas de valores se determinan los nuevos errores, verificándose de este modo la bondad

del ajuste del método usado.

### 3. Optimize Spaces Distribution Model

El primer problema consiste en optimizar los beneficios finales del aparcamiento teniendo en cuenta la capacidad limitada 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 para cinco días laborables (de lunes a viernes), alquiler de una plaza de aparcamiento para una estancia de cinco días.
3. Abono mensual (30 días), alquiler de una plaza de aparcamiento para una estancia de 30 días.

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:

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

Al asumir un límite de capacidad horaria:

$$\begin{aligned} \sum_{1 \leq i < j} \sum_k x_{ijk} &\leq b_i & \forall i \notin \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \\ \sum_{1 \leq i < j} \sum_k x_{ijk} + \mu_g x_g &\leq b_i & \forall i \in \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \end{aligned} \quad (2)$$

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

$$0 \leq x_{ijk} \leq d_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i,j,k} x_{ijk} p_{j,k} + \sum_{g=1}^{M_g} \lambda_g c_g \mu_g x_g \\ \text{s.a.} \quad & \sum_{i \leq j} \sum_k x_{ijk} \leq b_i \quad \forall i \in \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \\ & \sum_{i \leq j} \sum_k x_{ijk} + \mu_g x_g \leq b_i \quad \forall i \in \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \\ & 0 \leq x_{ijk} \leq d_{ijk} \\ & x_{ijk} \text{ entera (o continua)} \\ & x_g \in \{0, 1\} \end{aligned} \quad (\text{DGP})$$

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 (DGP), 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.

La realidad puede dar lugar a un número mayor de peticiones, 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 estocástico, solo para clientes individuales, fue presentado para el sector aéreo por De Boer *et al.* (2002). Se asume que las demandas  $d_{i,t}$  tienen diferentes escenarios en los que pueden ocurrir, que se representan por  $d_{ijk,1} < d_{ijk,2} < \dots < d_{ijk,S}$ , indicando el último subíndice el escenario posible de peticiones de clientes que el aparcamiento se puede encontrar.

A continuación se incluye el modelo de demanda estocástica, incluyendo grupos de abonados. Las variables son:  $x_{ijk,r}$  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  $r$ . La variable binaria  $x_g \in (0, 1)$  indica si se debe o no aceptar al grupo de abonados de las características correspondientes a los datos anteriores. El modelo resultante es:

Las variables  $x_{ijk,r}$  representan la parte de demanda perteneciente al intervalo  $(d_{ijk,r-1}, d_{ijk,r}]$ . 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  $\Pr(x_{ijk} = d_{ijk,r-1}) = \Pr(x_{ijk} = d_{ijk,r})$ . 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 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  $\Pr(D_{ijk} = d_{ijk,r})$ . 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.

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

#### 4. Parking Inventory Control

En el proceso de la previsión de conductores se tienen unas reservas ya realizadas y unos clientes que se producirán en los instantes futuros. Estos últimos son los estimados y se optimizan con el modelo de capacidad. Tras resolver los modelos anteriores propuestos se tienen como datos para la simulación las  $x_{ijk}$ . En realidad lo que suele ocurrir es que el número de conductores previstos y distribuidos en cada categoría no es el que se producirá. Las reservas de conductores se van produciendo con unas pautas de comportamiento según sea una categoría barata o cara.

Debido a estas dos características importantes se estudiarán distintas formas de asignación de inventario ante unas llegadas de conductores simuladas. Es importante el método utilizado para simular las llegadas de conductores. Se opta por unas llegadas no homogéneas descritas por una distribución de Poisson no homogéneo que son las que se pueden asimilar más a la realidad, Lewis y Shedler (1979).

##### 4.1. Algoritmos de asignación

Una vez supuesta una distribución del inventario y ante unas llegadas de conductores simuladas mediante un proceso de Poisson no homogéneo, la prioridad que se le asigne a cada categoría también influirá en los ingresos finales obtenidos. Trabajos anteriores realizados sobre la influencia de los algoritmos de asignación en los beneficios obtenidos, entre las que destaca el realizado por Botimer y Belobaba (1999), donde para el sector aéreo se estudia la relación existente entre la política de precios seguida y la forma de asignación de clientes. Otro planteamiento, Morris et al. (2000), relaciona el método de asignación con las ofertas realizadas por los clientes en un tiempo determinado mediante unas subastas. Antes de pujar, el método de distribución ha determinado un precio mínimo para cada instante y todas las ofertas inferiores a este precio deben ser rechazadas.

En este trabajo se comparan tres algoritmos de asignación de llegadas FC-FS (se asignará cada unidad de inventario a cada conductor en función del orden de llegada), DISTINCT (se divide la capacidad global diaria en distintas categorías) y NESTED (las distintas estancias y categorías deben ser clasificadas por su contribución a los ingresos totales del aparcamiento). De esta forma se puede comprobar mediante una simulación el modelo que proporciona mejores resultados.



## 5. Experiencias Computacionales

A continuación, se exponen los datos y resultados obtenidos en la resolución de una batería de cuatro problemas para un aparcamiento de tamaño 250 plazas y tres categorías de conductores individuales. Estas categorías son: conductores normales, residentes y comerciantes en la zona. Los residentes y comerciantes son conductores individuales que tienen su lugar de residencia o de trabajo, respectivamente, en las cercanías del aparcamiento, y que han rellenado una solicitud para obtener unas tarjetas que les identifican como residentes o comerciantes. Ello les permite obtener un precio más económico que el de los conductores individuales normales, pero no significa que tengan una plaza de aparcamiento alquilada. El alquiler de una plaza se obtiene mediante un abono de un día, de cinco días o de 30 días. En el caso de poseer un abono, los conductores son considerados como abonados.

Para la resolución de los diferentes problemas se conoce de antemano el número de días de estudio, la capacidad diaria del aparcamiento y el número de categorías del aparcamiento para conductores individuales. Para este caso, el número de días de estudio será 30, la capacidad diaria del aparcamiento será constante e igual a 250 plazas; y el número de categorías individuales del aparcamiento serán tres, quedando fijado el precio de las distintas categorías de conductores individuales o categorías individuales por hora.

Los precios son distintos no sólo entre las distintas categorías, sino también según la franja horaria en la que la plaza del aparcamiento esté siendo ocupada. Trabajamos con dos franjas horarias, cara y barata. En este aparcamiento la franja horaria cara transcurre desde las 8:00 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 8:00 horas, desde las 14:00 hasta las 16:00 horas y desde las 19:00 hasta las 24:00 horas).

Los precios de los abonos usados son, 12.5 € para el abono diario, 45 € para el de cinco días laborables y 160 € para el abono mensual. Se han elegido para formar la batería de problemas cuatro problemas: dos, con una duración de un día (horizonte temporal de 24 horas), y otros dos, con una duración de cinco días (horizonte temporal de 120 horas).

Tras la previsión del número de conductores de las distintas categorías que aparecerán cada hora, se optimiza esta afluencia a la capacidad disponible en el aparcamiento, usando un modelo considerando una demanda determinista o estocástica. Como las llegadas de conductores discreparán de los valores previstos y las llegadas no se producen todas al unísono, sino que unas reservas se producen antes que otras, se incluye un análisis de tres métodos de asignación distintos, para ver cuál de ellas se comporta mejor ante distintas circunstancias.

En concreto se han simulado las llegadas de las distintas categorías para una duración de 30 días. Éstas se asimilaron a un proceso de llegadas de Poisson no homogéneo, con una razón de llegadas  $\lambda(t)$  variable con el tiempo.

Para asemejar el proceso a la realidad, la razón  $\lambda(t)$  se relacionó de dos formas con el valor de los conductores previstos. De una forma directa, el total de conductores que solicitan una plaza es directamente proporcional al valor anteriormente previsto. Mientras que otra situación, relacionada de forma inversa, las solicitudes diarias resultan unos valores que difieren de los previstos. De esta forma, se simulan las situaciones que pueden aparecer, que la previsión concuerde con la realidad, o que el valor previsto difiera mucho del posteriormente producido. Tras estas formas de los procesos de llegadas, se simulan las distintas posibilidades antes

comentadas de asignación del inventario.

El primer método de asignación es FC-FS. Se comienzan a vender las plazas a los conductores con el límite de la capacidad total del aparcamiento, por lo que el hecho que diferencia a los conductores es el instante de llegada a reservar su plaza de parking. A continuación se usó el método Distinct, donde a priori se ha repartido capacidad total en las distintas categorías. Estos valores son los que usa como límite para poder vender a los distintos conductores que solicitan los servicios. Este valor será único, en el caso de considerar demanda determinista, o múltiple si la demanda se considera estocástica en los tres escenarios antes resueltos. Por último, el método Nested, es similar al anterior salvo que todas las categorías pueden disponer de los servicios reservados a categorías inferiores. De este modo el conductor dispuesto a desembolsar precios superiores tiene preferencia.

Tras la aplicación de los tres métodos se comparan los ingresos entre ellos y respecto al valor óptimo de la función objetivo. Éste se obtiene a posteriori del valor del total de llegadas y se elige qué distribución de conductores hubiese sido la que proporcionaría mayores ingresos.

A continuación, se muestran en la tabla 1, a modo resumen, los resultados obtenidos de ingresos diarios promedios, según el modelo de distribución capacidad aplicado y el método de asignación de conductores, para las mismas llegadas de Poisson no homogéneas.

	FCFS		Distinct		Anidado		Óptimo
	Ingresos	% error	Ingresos	% error	Ingresos	% error	Ingresos
<b>DP</b>	1952	12,6	2010	10,0	2050	8,3	2235
<b>DGP</b>	1960	13,9	2014	11,5	2051	9,9	2277
<b>SP</b>	1952	12,6	2003	10,4	2042	8,6	2235
<b>SGP</b>	1960	13,9	2005	11,9	2043	10,2	2277

**Tabla 1.** Resumen de los resultados de las heurísticas

En cuanto a los resultados medios obtenidos, resultan unos ingresos mayores si se dispone el inventario mediante una distribución anidada que de las otras dos formas. Las causas son debidas a que en épocas de demanda alta, todos los conductores de precio superior pueden optar a un servicio, aunque sea de una categoría más barata.

Otra particularidad que se pudo observar en los resultados desagregados, son los días en los que el método distinct obtiene un ingreso superior al anidado. Si se analiza la distribución final de conductores por cada una de las asignaciones, se puede observar que el método anidado no distingue de ninguna forma a los conductores por la duración. Esto quiere decir que trata de igual forma a un conductor que vaya a estar una sola hora que varias horas, pudiendo ocurrir que en una misma estancia haya periodos de mayor y otros de menor demanda. Para evitar esta deficiencia del método anidado, se sugiere el usar como precio para diferenciar las categorías superiores el precio dual de las restricciones diarias, de manera que el precio dispuesto a pagar se compara con el valor medio de los precios duales de los días que contemplen la estancia.

De estos resultados se obtiene el modelo con los mayores ingresos previstos, que es el estocástico con posibilidad de grupos de abonados e inventario anidado. Salvo que se puedan determinar claramente unas épocas del año que cumplan los requisitos de difícil previsión con una baja



demanda de plazas, donde se sugiere el uso del mismo modelo con un método de asignación FCFS.

La otra variable de interés en los modelos planteados en este capítulo es el tiempo de ejecución. A continuación se representan los tiempos necesarios para resolver el problema, usando la herramienta CPLEX, sin tener en cuenta el tiempo de construcción del modelo, ni el tiempo de extracción. Los tiempos de ejecución que se muestran están expresados en segundos. Para los cálculos de los tiempos de ejecución se ha utilizado un PC Pentium III a 850 MHz con 64 Mb de memoria RAM.

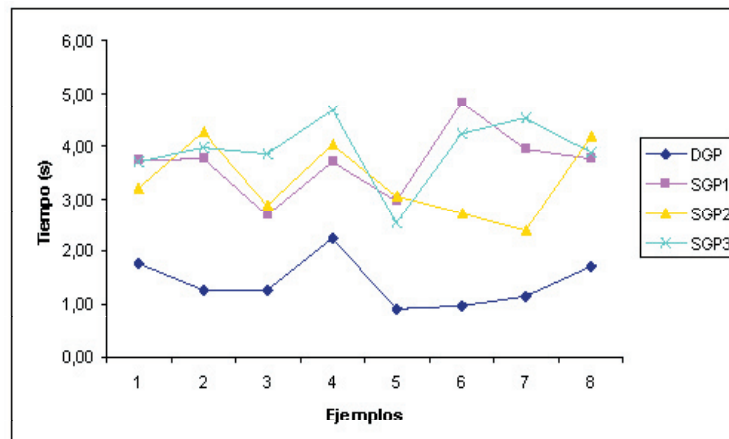


Figura 3. Tiempo promedio de resolución

En la figura se pueden observar en conjunto los tiempos promedios de computación de los distintos modelos, como dato a destacar es que todos los problemas de la batería se resolvieron en un tiempo operativo, por lo que todos los modelos son susceptibles de ser aplicados.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado el problema de la gestión de aparcamientos, diferenciando la tipología del conductor. Se han propuesto dos modelos que aceptan conductores individuales y grupos de abonados, junto con la posibilidad de obtener el precio mínimo a partir del cual es rentable para el aparcamiento ofrecer un abono. Los resultados obtenidos, muestran la diferencia existente de ingresos entre los modelos determinista y estocástico, y la posibilidad de aceptar o rechazar las peticiones de grupos de abonados en función de los conductores individuales que se verán desplazados. Del mismo modo, se resalta que ambos modelos presentan tiempos de resolución razonables utilizando la herramienta CPLEX. En la actualidad se está estudiando la posibilidad de su implantación en un aparcamiento urbano de la ciudad de Sevilla, junto con una herramienta para la previsión de conductores.

Los sistemas de asignación de las unidades de inventario en empresas del sector servicios son necesarios debido al patrón variable de comportamiento que presentan los clientes en sus llegadas a consumir el servicio prestado. En este trabajo se han modelado dichas llegadas mediante un proceso Poisson no homogéneo y ante tres algoritmos diferentes ver los ingresos finales obtenidos. El algoritmo que mejores resultados promedios presenta difiere del óptimo en un 5%, por lo que se considera dicho procedimiento apto para posibles mejoras orientadas a diferenciar distintas épocas en el aparcamiento.

## 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, Madrid, Oviedo y Sevilla en el proyecto coordinado ref. DPI2005-09132-C04-00.

## Referencias

Botimer, T.C.; Belobaba, P.P. (1999). Airline pricing and fare product differentiation: A new theoretical framework. *Journal of the Operational Research Society*, Vol 50, No 11, pp. 1085-1097.

De Boer, S.V.; Freling, R.; Piersma, N. (2002). Mathematical Programming for Network Revenue Management Revisited. *European Journal of Operational Research*, Vol. 137, pp. 72-92.

Kall, P.; Wallace, S. (1994). *Stochastic Programming*. 1<sup>st</sup> ed. John Wiley & Sons.

Kimes, S. (1999). Group Forecasting Accuracy in Hotels. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, No. 11, pp. 1104-1110.

Kimes, S. (2000). A Strategic Approach to Yield Management. *Yield Management: Strategies for the service industries*, A. Ingold, U. McMahon-Beattie and I. Yeoman, Ed. Continuum: London, pp. 3-14.

Law, A. M. y Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*. Mc-Graw Hill.

Lewis, P.A.; Shedler, G.S. (1979). Simulation of Nonhomogeneous Poisson Processes by Thinning. *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 26, pp. 403-413.

Morris, J.; Ree, P.; Maes P. (2000). Sardine: Dynamic Seller Strategies in an Auction Marketplace. *Proceedings de la 2nd ACM Conferencia sobre Comercio Electrónico*, Minneapolis, pp. 128-134.

Smith, B.; Leimkuhler, J.; Darrow, R. (1992). Yield Management at American Airlines. *Interfaces*, Vol. 22, No. 1, pp. 8-31.

Williamson, E. (1992). *Airline Network Seat Inventory Control: Methodologies and Revenue Impacts*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.