



## **OPORTUNIDAD DEL REVENUE MANAGEMENT PARA ACTIVAR SECTORES**

José Guadix, Pablo Aparicio, Jesús Muñuzuri, Pablo Cortés  
Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos,  
s/n. 41092-Sevilla. +34 954487389, [guadix@esi.us.es](mailto:guadix@esi.us.es)

### **Resumen**

*Revenue Management* es una técnica que cada vez está tomando más importancia en el sector servicios en general, y en el turismo en particular. Ello es debido a que la mayoría de estas empresas presentan simultaneidad en la producción y consumo del servicio prestado, junto con la imposibilidad de su almacenamiento por ser perecedero. El objetivo es vender cada unidad de inventario al tipo de cliente adecuado, en el instante preciso y al precio conveniente. En este trabajo se repasan los sectores de mayor aplicación y se propone una novedosa, aparcamientos de coches, que le permita mejorar su gestión e ingresos finales.

### **Summary**

Revenue management is a technique that is taking on a more important role in the service sector due to the majority of the companies that present similarities in the production and consumption of services, combined with the inability to store perishable products. The aim is to sell each inventory unit to the appropriate customer, at the precise moment and price. This paper examines the major application areas and proposes it in a new sector, car parks, enabling it to improve their management and final profits.

**Palabras clave:** *Revenue Management*, Sector Servicios, Perecedero, Modelado, Simulación, Parking.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante la elaboración del trabajo se ha tratado en primer lugar de mostrar la técnica *Revenue Management* en las empresas del sector servicios en general. Su uso viene dado por las características de sus unidades de inventario, principalmente por su carácter perecedero. De esta forma las unidades diarias no vendidas implican una pérdida de ingresos. Del mismo modo presentan una posibilidad de venta por adelantado y una segmentación de los clientes, por lo que ante algunos servicios aparece la posibilidad de venderlos por adelantado o esperar a instantes cercanos a su consumo con ventas a precios mayores. De este modo aparece un coste de oportunidad asociado a los inventarios, y será de enorme importancia una previsión de clientes lo más cercana posible a la realidad. Coincidiendo con todas estas características presentan una capacidad fija en el corto plazo, por lo que su utilización debe ser de la mejor manera posible.

De esta forma, *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. Se presentan las características de los servicios de distintos sectores, los posibles canales de venta que se utilizan en la actualidad, así como una revisión de referencias bibliográficas clasificadas por sectores.

A continuación se añade una aplicación novedosa que ayude en la gestión de las unidades de inventario en los parkings, las plazas de aparcamiento. Se presentan las características que hacen que pueden aplicarse las técnicas *Revenue Management* en estas empresas. Se plantea un modelo de aplicación con varios módulos relacionados, sobre un histórico de datos de ocupación se realiza una previsión de conductores futuros. A continuación se utilizan estas magnitudes previstas para distribuir las plazas en la capacidad disponible del aparcamiento. Para ello se divide en distintas categorías, utilizando distintas franjas tarifarias. Además se ofrecen abonos a conductores, con lo que se bajan los precios para estos servicios a la vez que se disminuye la incertidumbre de un grupo de clientes. Para finalizar es necesario dar unas pautas de comportamiento en las ventas de los aparcamientos. Para ello se simulan diversas heurísticas de asignación de inventarios en

función de las llegadas de los conductores. Esta forma de proceder se implantó en una batería de problemas y se exponen los resultados obtenidos, medidos en términos de ingresos, eficiencia y ocupación.

## **2. UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA REVENUE MANAGEMENT EN EL SECTOR SERVICIOS**

*Revenue Management* (RM), también conocido como *Yield Management*, es un conjunto de técnicas utilizadas para gestionar los recursos de la empresa. Es una metodología que puede ayudar a las empresas del sector servicios a colocar en el mercado la correcta unidad de inventario a la clase de cliente adecuado, en el instante preciso y al precio conveniente. RM ayuda en la toma de decisiones, aportando el modo de conseguir que las categorías de inventario similares se ajusten a la demanda existente para maximizar los ingresos o beneficios. En definitiva, el problema se reduce a cuánto y a qué precio se debe vender en cada segmento de mercado.

El comienzo de las técnicas RM se puede situar sobre 1950, en las compañías aéreas y hoteleras. Las técnicas entonces usadas se limitaban a una predicción del overbooking. Haciendo uso de la experiencia, las cancelaciones y los clientes de última hora, se podría predecir con alguna exactitud. Esto permitiría a los gestores alcanzar niveles altos de ocupación, con lo que conseguirían mayores ingresos.

En la década de los 80, coincidieron dos aspectos que hicieron posible el avance del RM: la tecnología informática y el cambio de la regulación aérea, Griffin et al. (1995). La repentina desregularización aérea que se produjo en 1978, creó una competencia suicida en el mercado doméstico de los EEUU. Antes del cambio regulatorio, las compañías aéreas dividían los pasajes en dos categorías: primera y cabina, y se distinguían por una diferencia tangible en niveles de servicio. En cada vuelo existían dos precios de billetes. Se alcanzó tal nivel de competencia, que fueron descendiendo los precios de los billetes, hasta tal punto que las compañías aéreas medianas perdieron, entre 1976 y 1987, más dinero del que habían ganado en todos los años anteriores.

En 1988 el gerente de American Airlines implantó el primer sistema RM y se lograron unos beneficios entre 1989 y 1991 de 1.4 billones de \$, Smith et al. (1992). Del mismo modo otros sectores de servicios siguieron los pasos de las líneas aéreas. La cadena de hoteles Marriot fue pionera en su aplicación en el sector hotelero en 1991, aumentando los beneficios de ese año entre 25 y 35 millones de \$, Cross (1997). La empresa de alquiler de coches Hertz siguió sus pasos en 1993, aumentando sus beneficios sobre un 5%, Geraghty y Johnson (1997).

La técnica RM, de conformidad con lo expuesto por Kimes (2000), es apropiada cuando se dan las siguientes circunstancias: La empresa opera con capacidad fija, la demanda puede ser claramente segmentada en conjuntos diferenciados, el inventario es perecedero, el producto se puede vender por adelantado, la demanda fluctúa suficientemente y presenta unos costes marginales de venta bajos, siendo altos los posibles costes de adición de capacidad extra.

Un sector de aplicación básica de esta técnica sería una carnicería o un supermercado, presentando ofertas cuando los productos se acercan a su caducidad. Posteriormente se han utilizado en cines, variando los precios para distintos días y sesiones que presentan un comportamiento de clientes predecible. Finalmente las compañías aéreas utilizan sofisticados sistemas de información para ir variando los precios, cerrar o abrir categorías, usan *overbooking*, etc. según el comportamiento de las reservas de los vuelos programados. Actualmente algunos supermercados están potenciando la utilización de RM, realizando estudios de los precios de la competencia y pudiendo automáticamente en tiempo real variar los precios de determinados productos.

Sin embargo hay que tener cuidado al ofrecer distintos precios a los clientes por un servicio. Un ejemplo de ello se pudo comprobar en la empresa Amazon.com, Enos (2000), cuando usó diferentes precios en los DVDs, ofreciendo descuentos entre el 20% y el 40%, en función del área geográfica en la que se situase el comprador. Los clientes usaron las herramientas TICs disponibles y pudieron comprobar para una misma película distintos precios. Este experimento creó un impacto negativo en la empresa. En otros sectores, como

el aéreo o el hotelero, las variaciones de precios son mayores y sin embargo no produce ninguna percepción negativa. Ello es debido a que el servicio que se oferta a distintos precios está bien diferenciado en sus características, por lo que el cliente percibe diferencias tangibles en los productos o servicios ofertados.

Las características de los servicios ofrecidos actualmente por los distintos sectores son:

Tabla 1. Uso de RM en los servicios ofrecidos por distintos sectores

SECTOR	SERVICIO
Aviones	Las compañías aéreas venden sus pasajes, asientos, en varias categorías ( <i>first, business y economy</i> ) y varían el precio con la antelación del vuelo.
Hoteles	El establecimiento hotelero vende sus habitaciones segmentadas para distintas tipología de huéspedes. Según los canales de venta que se utilicen se pueden encontrar distintos precios. Ofrecen paquetes a grupos de clientes.
Alquileres de coches	Se alquilan coches variando el precio en función de la disponibilidad en el parque de coches. Ofrecen ofertas en temporadas de demanda baja.
Transporte ferroviario	Divide a los clientes en categorías, usando diferentes precios en las horas del día y en diferentes días de la semana.
Restaurantes	Ofrecen menús oferta o cupones de descuento para días y horas que se esperan pocos clientes. En picos de demanda pueden subir los precios de los platos.

Los clientes de las empresas de servicios suelen agruparse en dos conjuntos, los que usan el servicio con una mayor necesidad, por ejemplo por razones de trabajo, y los que lo hacen con una menor necesidad, por ejemplo relacionado con el ocio. Cada uno de dichos conjuntos tiene un comportamiento diferente ante el precio y por el instante en que adquieren el servicio. De la experiencia, se deduce, que los clientes de ocio adquieren el servicio con cierta antelación, como sucede con unas vacaciones planificadas. Los clientes de trabajo suelen necesitar el servicio en fechas inmediatas.

Por tanto, por un lado, el cliente de negocios puede encontrar en poco tiempo una habitación en un pico de demanda y a un precio elevado; y por otro, el cliente de ocio adquiere una habitación por adelantado a un precio barato. De esta forma el gestor de la empresa consigue una mayor ocupación con unos beneficios mayores.

En el caso particular de una compañía aérea, una cadena de hoteles o una empresa de alquiler de coches se pueden establecer tres vías para acceder a una petición: vía agencia de viajes, por teléfono o usando una página web, tal como se muestra en la figura 1.

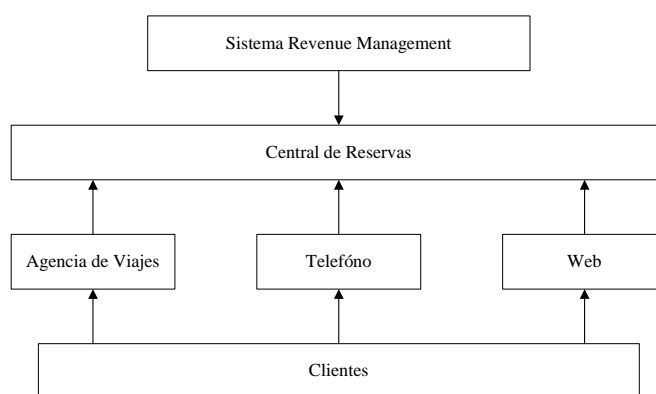


Figura 1. Canales de venta en el sector servicios

Las empresas ofrecen distintos canales de venta a los diferentes segmentos de clientes. De esta forma el cliente puede hacer su reserva utilizando una agencia de viajes (cobrándole ésta una tasa por la gestión), vía telefónica directa a la central de reservas o vía web directamente sobre el sistema RM. La diferencia entre los tres procedimientos o canales de venta radica en el precio que se aplica a cada canal.

## 2.1. Sectores de aplicación

Los distintos sectores que se van a considerar presentan peculiaridades en la duración del servicio prestado y en la cuantía del precio percibido por la prestación del servicio, por lo que son susceptibles de ser gestionados mediante sistemas de *Revenue Management*, Withiam (2001). Estas características pueden esquematizarse del modo que se muestra en la figura 2.

		Precio	
		Fijo	Variable
Duración	Predeterminada	Transporte Ferroviario Salas de Cine Estadios Auditorios	Avión Hoteles Alquiler de Coches Líneas de Cruceros
	Aleatoria	Restaurantes Internet Cursos Museos Parques de Atracciones	Hospitales No Lucrativos

Figura 2. Sectores según duración y precio del servicio

Según se muestra en la figura 2 los sectores que normalmente cumplen los requisitos expuestos en el apartado anterior son los que aparecen en el cuadrante superior derecho (hoteles, aviones, etc.) al presentar un servicio con una duración prefijada y con un precio variable. Los sectores situados en el cuadrante superior izquierdo (cines, estadios, auditorios, etc.), presentan un precio fijo para un servicio de duración prefijada. Los sectores del cuadrante inferior izquierdo (restaurantes, museos, etc.) tienen unos precios fijos para una duración aleatoria. El cuadrante que resta, el inferior derecho, engloba a sectores como el hospitalario, que presentan precios diferentes (centros públicos y privados) y se desconoce la duración de la estancia del cliente o paciente, en este caso.

Como separación entre los distintos cuadrantes se utilizan líneas discontinuas para resaltar que muchos sectores no pertenecen exclusivamente a uno de ellos, sino que por sus características pueden pertenecer a más de uno.

La aplicación de las técnicas RM se ha centrado generalmente en las empresas que caracteriza el cuadrante superior derecho, ya que al presentar una duración prefijada, lo que se intenta es maximizar los ingresos obtenidos en base a la determinación del precio de los servicios.

Conviene comentar brevemente los dos conceptos que se han usado para la distinción de los distintos sectores. En cuanto a la duración del servicio, es necesario que la empresa preste especial atención al tiempo que los clientes utilizan cada servicio. Para ello se debe cuantificar con exactitud su magnitud, disminuir las incertidumbres de las llegadas y reducir el tiempo muerto existente entre clientes (periodos de espera). Se puede definir la duración como una medida del servicio en términos de tiempo (número de noches o de horas) o de eventos (número de comidas, de vuelos, etc.). Sin embargo, es más aconsejable medir la duración en tiempo que en número de eventos para poder llevar a cabo un mejor control.

## 2.2. Referencias del uso de la técnica RM en sectores

En la tabla 2 se recogen de forma esquemática, los distintos autores que han trabajado en las técnicas RM clasificados conforme a los sectores en los que se han centrado sus trabajos.

Tabla 2. Referencias del uso de las técnicas RM en distintos sectores

Sector	Autores
Transporte aéreo	Rothstein (1971), Littlewood (1972), Belobaba (1987, 1989), Brumelle, McGill, Oum, Sawaki & Tretheway (1990), Curry (1990), Williamson (1992), Smith, Leimkuhler & Darrow (1992), Bodily & Weatherford



	(1995), Belobaba & Weatherford (1996), Kasilingam (1996), Coughlan (1999), McGill & Van Ryzin (1999), Pak & Piersma (2002), Boyd (2006)
Hoteles	Rothstein (1974), Ladany (1976), Liberman & Yechiali (1978), Orkin (1988), Relihan (1989), Bitran & Gilbert (1992), Bitran & Mondschein (1995), Baker & Collier (1999), Jones (1999), Kimes (1999), Luciani (1999), Choi & Cho (2000), Withiam (2001), Choi & Mattila (2005)
Alquiler de coches	Caroll & Grimes (1995), Geraghty & Johnson (1997), Savin, Cohen, Gans & Katalan (2005)
Transporte ferroviario	Campbell & Morlok (1994), Strasser (1996), Ciancimino, Inzerillo, Lucidi & Palagi (1999)
Restaurantes	Kimes (1998), Bertsimas & Shioda (2003)
Internet	Paschadilis & Tsitiklis (2000), Boyd & Bilegan (2003)
No lucrativos	Metters & Vargas (1999)
Otros	Arthur Andersen (1997), Chiang, Chen & Xu (2007)

Los sectores aéreo, hotelero, de alquiler de coches o de transporte ferroviario son en los que más se han desarrollado las técnicas RM, prueba de ello son la cantidad de trabajos previos. Otros sectores donde se está comenzando su implementación es el de la restauración, donde se intenta que el tiempo de los comensales sea proporcional al consumo generado. Por ello los platos cuestan en función del tiempo que usarán la mesa y no del coste de las materias primas. Prueba de ello pueden ser los elevados costes de los postres, dado que puede impedir que nuevos comensales ocupen su puesto y generen nuevos ingresos. Respecto a Internet se propuso un modelo en el que al solicitarse por un usuario el servicio de Internet,

el servidor realice un análisis del número de clientes conectados en ese momento y de las previsiones estimadas. De tal forma que, dependiendo del instante en que se solicita el servicio, las tarifas varían. Se ha quedado en una propuesta, y salvo las tarifas planas o servicios en determinadas horas del día, aún no se ha avanzado en esta línea.

En cuanto a las empresas sin ánimo de lucro, entre las que podemos encontrar los centros hospitalarios, los fines buscados se centran en dar un servicio de calidad al mayor número posible de personas y con un presupuesto limitado.

Con el uso de esta técnica se trata de abrir nichos de mercado en sectores de nueva aplicación. Se le ofrecen a los clientes servicios segmentados en instantes y usos, tratando de facilitar su adquisición por adelantado. Otros sectores donde también se está utilizando dicha técnica son los servicios asociados a los eventos deportivos, las saunas, los anuncios de televisión, los museos, los espectáculos de teatros, etc.

### **3. APLICACIÓN NOVEDOSA EN LOS APARCAMIENTOS DE COCHES**

Dentro del sector servicios existen un tipo de empresas que en los últimos años cada vez están adquiriendo mayor importancia, tanto en número como en facturación se requiere. Estas empresas son las dedicadas a los aparcamientos de coches. El coche se ha impuesto como el medio de transporte por excelencia y su uso se ha extendido a la mayoría de los ciudadanos de los países del primer mundo. En paralelo, las ciudades presentan una extensión finita, con una ordenación urbanística poco flexible, por lo que la disponibilidad para aparcar un coche en las zonas céntricas se ha convertido en un bien finito y escaso. Para hacer posible la aplicación de las técnicas *Revenue Management*, los aparcamientos cumplen con seis requisitos:

- La empresa está operando con una capacidad fija: si todas las plazas de aparcamiento están ocupadas 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: 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: 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: 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: 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: la comparación de una venta adicional de una hora de aparcamiento es baja comparada con la inversión para aumentar el tamaño del parking.

El problema actual que presentan los aparcamientos es que gestionan sus plazas de aparcamientos de forma que ante un precio estático con el tiempo se van ocupando en función que los conductores deseen utilizarlo. En otros sectores se ha demostrado que si se ofrecen distintos precios en distintos instantes se puede incitar a la oferta en los momentos que interese a la empresa. De esta forma en periodos que se esperen con pocas plazas ocupadas se pueden ofrecer plazas más baratas y en periodos con una alta ocupación aumentar los precios. El conductor que necesite usar el aparcamiento y tenga varias opciones para su llegada podrá optar por una más barata, por lo que se aumenta la ocupación global del aparcamiento y la empresa aumenta sus ingresos.

Para solucionar este problema se plantea una herramienta con tres grandes 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. Estas 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, la asignación de las plazas. 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. Por último, con los conductores que lleguen y sean aceptados se obtendrá el nivel de ocupación real.

El módulo de modelos de capacidad incluye la posibilidad de gestionar el aparcamiento ofreciendo plazas a conductores individuales y a grupos de conductores. De esta forma se pretende disminuir la incertidumbre para generar un beneficio, dado que los grupos presentan menor riesgo que los conductores individuales, que por cualquier incidencia externa al parking pueden no presentarse y los ingresos no se producirían.

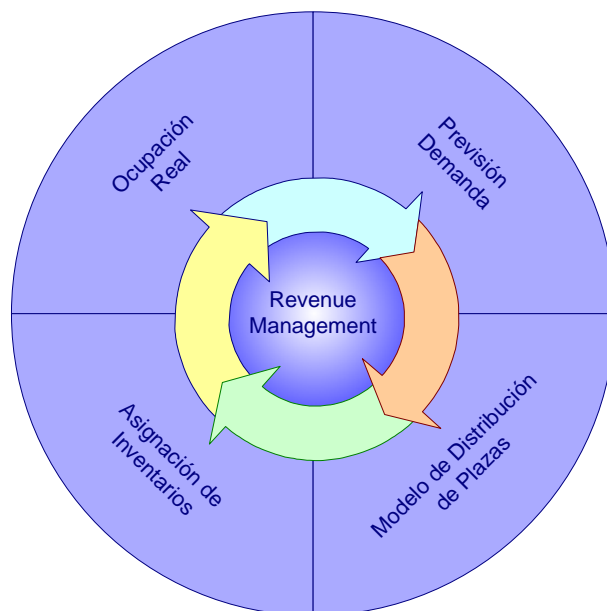


Figura 3. Esquema de RM aplicado a los aparcamientos de coches

La finalidad de las técnicas RM es aumentar los beneficios generados por estos clientes. La determinación de los mejores precios para cada categoría es difícil debido a que se suele carecer de información sobre las elasticidades para los distintos precios, que además dependerá de la política de precios de la competencia.

### **3.1. Previsión de la demanda**

El procedimiento utilizado en la previsión de conductores 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, Lee (1990). Sin embargo estos métodos pueden ser extrapolados para otros sectores, como los hoteles o en nuestro caso los aparcamientos, Kimes y Weatherford (2003).

### **3.2. Modelo de distribución de plazas**

Tras obtener la previsión de conductores se modela el problema de distribución del número finito de plazas, capacidad del aparcamiento, entre las distintas categorías ofertadas. De esta forma se obtendrá el número de plazas de aparcamiento de cada categoría y el número de abonados que se deben ofrecer para obtener el máximo beneficio. Estos problemas son una ampliación del planteado por de Boer (2002) para el sector aéreo. Presentan la novedad de ser aplicados a parkings e incluir grupos de abonados como posibles clientes.

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 un mismo plazo de tiempo (durante las mismas horas). Debido a esta característica se deben considerar de forma diferente que 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. Se ha trabajado con tres tipos de abonados:

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.

Los datos, parámetros, necesarios para plantear el problema de gestión de recursos son:

- $H$  : el horizonte temporal, medido en número de horas, que se pretende optimizar.
- $b_i$  : las capacidades horarias del aparcamiento, donde  $i$  varía entre 1 y  $H$ .
- $C$  : el número de categorías individuales en las que se segmenta el aparcamiento. Estas categorías con precios distintos son: 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  $E_j$ .

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

- $N_g$  : el número abonos que ofrece el aparcamiento. Podrán ser: abono diario, de cinco días laborables y abono mensual.
- $c_g$  : el precio total por componente de cada tipo de grupo de abonados, donde  $g$  varía entre 1 y  $N_g$ .
- $\lambda_g$  : la duración en días de estancia de cada tipo de grupo de abonados.
- $\mu_g$  : el tamaño de cada grupo de abonados.
- $i^*$  : el día de reserva de cada grupo de abonados.

De este modo las incógnitas, 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 en el modelo se relajan estas variables enteras a continuas, obteniéndose un 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.

Se plantea maximizar los beneficios generados por la venta de las plazas de aparcamientos a clientes individuales y abonados, cumpliendo las condiciones asociadas a la restricción de la capacidad del parking y a las previsiones de conductores. Como el número de clientes presentan una incertidumbre, se plantean dos problemas: el deterministic group problem (DGP) para un escenario de llegadas de conductores igual al previsto y el stochastic group problem (SGP) con distintos escenarios posibles,  $r=1, \dots, S$ , pudiendo ser la demanda real mayor que la prevista,  $D_{ijk} \geq d_{ijk,r}$ .

$$\begin{array}{ll}
 \max & \sum_{i,j,k} k p_j x_{ijk} + \sum_{g=1}^{N_g} \lambda_g c_g \mu_g x_g \\
 \text{s.t.} & \sum_{l \leq i} \sum_{i < j} \sum_k x_{ijk} \leq b_i \quad \forall i \in \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \\
 & \sum_{l \leq i} \sum_{i < j} \sum_k x_{ijk} + \mu_g x_g \leq b_i \quad \forall i \in \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \\
 & 0 \leq x_{ijk} \leq d_{ijk} \\
 & x_{ijk} \text{ integer (or continuous)} \\
 & x_g \in \{0,1\} \quad \text{(DGP)}
 \end{array}
 \quad \left. \begin{array}{l}
 \max & \sum_{r=1}^S \sum_{i,j,k} k \cdot p_j \cdot \Pr(D_{ijk} \geq d_{ijk,r}) \cdot x_{ijk,r} + \sum_{g=1}^{N_g} \lambda_g c_g \mu_g x_g \\
 \text{s.t.} & \sum_{r=1}^S \sum_{l \leq i} \sum_{i < j} \sum_k x_{ijk,r} \leq b_i \quad \forall i \in \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \\
 & \sum_{r=1}^S \sum_{l \leq i} \sum_{i < j} \sum_k x_{ijk,r} + \mu_g x_g \leq b_i \quad \forall i \in \{i^*, \dots, i^* + \lambda_g\} \\
 & x_{ijk,1} \leq d_{ijk,1} \\
 & x_{ijk,r} \leq d_{ijk,r} - d_{ijk,r-1} \quad \forall r=2, \dots, S \\
 & x_{ijk,r} \geq 0 \text{ integer (or continuous)} \\
 & x_g \in \{0,1\} \quad \text{(SGP)}
 \end{array} \right\}$$

La presencia de los grupos de abonados tiene un grado de incertidumbre menor que las reservas individuales. A los grupos de abonados se les suele exigir un adelanto en el pago. A la hora de tener en cuenta en el modelo los precios mínimos exigibles a un grupo de

abonados, se ha de considerar como un parámetro muy importante este grado de incertidumbre que tiene el abono, frente al que aportan los conductores individuales. Un abonado suele reservar las plazas del parking con bastante antelación. De este modo, un abonado será un valor seguro en la gestión de las reservas de un aparcamiento, una fuente de ingresos confirmada porque. Esto tiene un gran valor, al asegurar una ocupación de antemano, con sus correspondientes beneficios económicos.

### **3.3. Asignación de inventarios**

Una vez realizada la distribución de la capacidad del aparcamiento entre las distintas categorías, los conductores llegarán al parking con distintos patrones de comportamiento. En realidad lo que suele ocurrir es que el número de conductores previstos y distribuidos en cada categoría no es el que finalmente 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 es necesario plantear distintas formas de asignación de inventario ante unas llegadas de conductores simuladas. Para simular las llegadas de conductores se opta por unas llegadas no homogéneas descritas por una distribución de Poisson, que son las que se pueden asimilar más a la realidad.

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. En un trabajo previo realizado por Teodoric y Lucic (2006) se muestra la influencia de los algoritmos de asignación en los beneficios obtenidos en parkings. Anteriormente para el sector aéreo se estudió la relación existente entre la política de precios seguida y la forma de asignación de clientes, Botimer y Belobaba (1999). 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 han utilizado tres algoritmos de asignación de llegadas:



#### A. FC-FS (first come-first serve)

Este primer método le asignará cada unidad de inventario a cada conductor 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. Dado que es independiente de la distribución de la capacidad realizada, este método se usará como un nivel de referencia respecto a los siguientes.

#### B. DISTINCT

En este algoritmo se tiene como dato la cantidad de unidades para cada categoría y duración de estancia,  $x_{ijk}$  obtenidas del modelo de capacidad. De esta forma se divide la capacidad global diaria en distintas categorías. Cada una de estas categorías solo se podrá ocupar por un conductor de sus características. Al darse el caso de llegar el número máximo de reservas previstas, dicha categoría se agota y se cierra.

#### C. NESTED

Este método de asignación se suele usar en la práctica habitual de las compañías aéreas. Para anidar el inventario, las distintas estancias y categorías deben ser clasificadas por su contribución a los ingresos totales del aparcamiento. Tras esta clasificación, una categoría puede usar su inventario más el de las inferiores.

### **3.4. Experiencias Computacionales**

La metodología planteada en los apartados anteriores se implantó para el caso de un aparcamiento con 150 plazas y tres categorías de conductores individuales. Estas categorías individuales 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 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 los siguientes parámetros: el número de días de estudio es 30, la capacidad diaria del aparcamiento es constante e igual a 150, el número de categorías individuales del aparcamiento es tres y el precio horario de las distintas categorías de conductores individuales, tal como se indica en la tabla 3.

Tabla 3. Precios de las distintas categorías

<b>Categorías Conductores Individuales</b>	<b>Franja Horaria</b>	<b>Precio (€)</b>
Normal	Cara	1.50
	Barata	1.20
Residente	Cara	1.20
	Barata	0.96
Comerciante	Cara	0.96
	Barata	0.60

En la tabla 3 podemos observar como los precios son distintos entre las distintas categorías y según la franja horaria en la que la plaza del aparcamiento esté siendo ocupada. El aparcamiento opera con dos franjas horarias, cara y barata. La franja horaria cara transcurre 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, tal como se representa en la tabla 4. El coste asociado a un conductor que aparque en las dos franjas horarias será proporcional a cada uso que utilice. Por ejemplo, un residente que esté en el aparcamiento desde las 17:00 hasta las 19:00 horas pagará dos horas de la franja horaria cara, 2.40 € En cambio, un conductor normal que esté en el aparcamiento desde las 18:00 hasta las 20:00 horas pagará una hora en franja horaria cara y otra en franja horaria barata, en total 2.70 €

Tabla 4. 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

Otros parámetros del problema son los precios de los abonos. En la actualidad se ofrecen tres abonos con un precio de 12.5 € para el abono diario, 45 € para el de cinco días laborables y 160 € para el abono mensual.

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 el modelo considerando una demanda determinista (DGP) o estocástica (SGP). Estos modelos se han implementado en el software de optimización CPLEX 8.0. 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. Estas simulaciones se han realizado con el software ARENA.

A continuación, se muestran en la tabla 5, a modo resumen, los resultados mensuales medios obtenidos, según el modelo de distribución capacidad aplicado y el método de asignación de conductores, para las mismas llegadas de Poisson no homogéneas.

Tabla 5. Resumen de los resultados mensuales medios

	FCFS			DISTINCT			NESTED			ROD
	Ingresos	Eficiencia	Ocupación	Ingresos	Eficiencia	Ocupación	Ingresos	Eficiencia	Ocupación	Ingresos
<b>DP</b>	62.813	79,9%	0,50	66.699	84,8%	0,53	69.458	88,3%	0,55	72.319
<b>DGP</b>	67.694	86,1%	0,54	71.920	91,4%	0,57	75.291	95,7%	0,60	78.150
<b>SP</b>	62.813	79,9%	0,50	67.122	85,3%	0,53	70.026	89,0%	0,56	72.319
<b>SGP</b>	67.694	86,1%	0,54	72.623	92,3%	0,58	75.292	95,7%	0,60	78.150

Esta tabla de resultados se puede analizar en primer lugar comparando los métodos de distribución de la capacidad. Se han añadido dos nuevos métodos, denominados deterministic problem (DP) y stochastic problem (SP), que son los casos particulares de aparcamientos que no ofertan abonados entre sus servicios, por lo que solo tendrán clientes

individuales. Si el aparcamiento oferta abonos a los clientes obtienen unos ingresos mayores debido a que los modelos abren estas categorías de grupos de abonos solo si obtienen unos ingresos esperados mayores que con los clientes individuales. En el caso que sea al contrario, no ofertará ese tipo de abono. En concreto, nuestros resultados muestran unos modelos determinista y estocástico con grupos con ingresos similares y siempre superiores a si no ofrece grupos. Al ser los ingresos del modelo determinista y estocástico similar significa que la incertidumbre asociada a los conductores futuros es baja, luego los métodos de previsión utilizados están obteniendo unas previsiones buenas.

Respecto al resultado de la eficiencia, número de conductores aceptados respecto al número total de conductores, presenta unos valores muy elevados, siendo éstos mejor con abonados. Los resultados de la ocupación, plazas de aparcamiento ocupadas respecto a la capacidad total, presenta unos resultados similares. Esta ocupación está medida como una media por mes, por lo que hay horas del día que es mayor y otras que es escasa.

Si se analiza la tabla en función de la heurística de asignación del inventario, 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 fuese de una categoría más barata.

Sin embargo pueden darse unas situaciones particulares, donde si algún día la demanda es baja y la previsión no ha sido acertada, es decir la distribución de la capacidad no es la apropiada para la demanda final, el número totales de conductores es inferior a la capacidad. En este caso, se comprueba con las simulaciones que los resultados obtenidos aplicando la heurística FCFS son superiores a las otras dos. Esta situación es una muy particular, y en el largo plazo el coste de oportunidad de este método siempre sería inferior a lo que se gana usando el método anidado.

Otra particularidad que se pudo observar en los resultados desagregados por días, son aquellos 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 dual de las restricciones diarias, de manera que el precio dispuesto a pagar se compare con el valor medio de los precios duales de los días que contemplen la estancia. Los ingresos obtenidos son del orden de un 5% inferior a los ROD, *real optimum distribution*, los ingresos obtenidos si conociésemos a priori los conductores reales que tendríamos por categoría.

De estos resultados se obtiene el modelo con los mayores ingresos previstos, que es el estocástico incluyendo 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.

#### **4. CONCLUSIONES**

En este trabajo se ha presentado una revisión de las aplicaciones tradicionales de la técnica Revenue Management en distintas empresas del sector servicios. Se han destacado las características principales, así como las particularidades que tienen cada una de dichas aplicaciones para que su implantación sea un éxito. Cada una de estas empresas tienen unas unidades de inventario perecederas, que presentan unas características propias y que los clientes están acostumbrados a comprarlas mediante unos parámetros de comportamiento y utilizando unos canales de venta específicos. Una de las claves del éxito para el uso de *Revenue Management* es potenciar unas costumbres en los clientes que los beneficien a todos ellos, tratando de potenciar el uso del servicio en épocas de baja demanda.

Tras esto se ha estudiado un problema novedoso, su posible aplicación en la gestión de aparcamientos, diferenciando la tipología del conductor. Para poder utilizar el *Revenue*

*Management* en los aparcamientos de coches son necesarios tres módulos: previsión de la demanda, distribución de la capacidad y control de inventario. Se pueden utilizar métodos tradicionales de previsión. Respecto a la distribución de la capacidad, se han propuesto dos modelos que aceptan conductores individuales y grupos de abonados. 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.

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. 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.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

Andersen, A. (1997): *Yield Management in Small and Medium Sized Enterprises in the Tourist Industry*. European Commission. Directorate General XXIII.

Baker, T. K. & Collier, D. A. (1999): "A Comparative Revenue Analysis of Hotel Yield Management Heuristics". *Decision Science*, 30(1), 239-263.

Belobaba, P. (1987): "Airline Yield Management: An Overview of Seat Stock Control". *Transportation Science*, 21(2), 63-73.

Belobaba, P. (1989): "Application of a Probabilistic Decision Model to Airline Seat Stock Control". *Operations Research*, 37(2), 183-197.

Belobaba, P. & Weatherford, L. (1996): "Comparing Decision Rules that Incorporate Customer Diversion in Perishable Asset Revenue Management Situations". *Decision Sciences*, 27, 343-363.

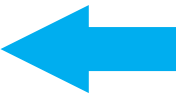
Bertsimas, D. & Shioda, R. (2003): "Restaurant Revenue Management". *Operations Research*, 51(3), 472-486.

Bitran, G. & Gilbert, S. (1996): "Managing Hotel Reservations with Uncertain Arrivals". *Operations Research*, 44, 35-49.

- Bitran, G. & Mondschein, S. (1995): "An Application of Yield Management to the Hotel Industry Considering Multiple Day Stays". *Operations Research*, 43(3), 427-443.
- Bodily, S. & Weatherford, L. (1995): "Perishable-asset revenue management: generic and multiple-price yield management with diversion". *Omega*, 23(2), 173-185.
- Botimer, T. C. & Belobaba, P. P. (1999): "Airline pricing and fare product differentiation: A new theoretical framework". *Journal of the Operational Research Society*, 50(11), 1085-1097.
- Boyd, A. (2006): "Revenue management in the airline industry: From gumball dispensers to rocket science". *Journal of Revenue & Pricing Management*, 5(2), 157-166.
- Boyd, A. & Bilegan, C. (2003): "Revenue management and e-commerce". *Management Science*, 49, 1363-1386.
- Brumelle, S. McGill, J. Oum, T. Sawaki, K. & Tretheway, M. (1990): "Allocation of Airline Seats between Stochastically Dependent Demands". *Transportation Science*, 24(3), 183-192.
- Campbell, K. & Morlok, E. (1994): "Rail Freight Service Flexibility and Yield Management". *Transportation Research Forum Proceedings*, 2, 529-548.
- Carroll, W. & Grimes, R. (1995): "Evolutionary Change in Product Management: Experiences in the Car Rental Industry". *Interfaces*, 25(5), 84-104.
- Chiang, W-C. Chen, J. & Xu, X. (2007): "An overview of research on revenue management: current issues and future research". *Int. J. Revenue Management*, 1(1), 97-128.
- Choi, T. & Cho, V. (2000): "Towards a Knowledge Discovery Framework for Yield Management in the Hong Kong Hotel Industry". *International Journal of Hospitality Management*, 19, 17-31.
- Choi, S. & Mattila, S. (2005): "Impact of information on customer fairness perceptions of hotel revenue management". *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 46, 444-451.
- Ciancimino, A. Inzerillo, G. Lucidi, S. & Palagi, L. (1999): "A Mathematical Programming Approach for the Solution of the Railway Yield Management Problem". *Transportation Science*, 33(2), 168-181.
- Coughlan, J. (1999): "Airline overbooking in the multi-class case". *Journal of the Operational Research Society*, 50(11), 1098-1103.
- Cross, R.G. (1997): *Revenue Management: hard-core tactics for market domination*. Broadway Books.
- Curry, R. (1990): "Optimal Airline Seat Allocation with Fare Classes Nested by Origins and Destinations". *Transportation Science*, 24, 193-204.
- De Boer, S. V. Freling, R. & Piersma, N. (2002): "Mathematical Programming for Network Revenue Management Revisited". *European Journal of Operational Research*, 137, 72-92.

- Pak, K. & Piersma, N. (2002): "Airline revenue management: an overview of OR techniques 1982–2001". Econometric Institute Report.
- Paschadilis, I. & Tsitiklis, J. (2000): "Congestion-Dependent Pricing of Network Services". IEE/ACM Transaction on Networking, 8(2), 171-184.
- Relihan, W. J. (1989): "The Yield Management approach to hotel-room pricing". Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly, 40-45.
- Rothsein, M. (1971): "An Airline Overbooking Model". Transportation Science, 5, 180-192.
- Savin, V. Cohen, A. Gans, N. & Katalan, Z. (2005): "Capacity management in rental businesses with two customer bases". Operations Research, 53, 617–631.
- Smith, B. Leimkuhler, J. & Darrow, R. (1992): "Yield Management at American Airlines". Interfaces, 22(1), 8-31.
- Strasser, S. (1996): "The Effect of Yield Management on Railroads". Transportation Quarterly, 50(2), 47-55.
- Teodoric, D. & Lucic, P. (2006): "Intelligent parking systems". European Journal of Operational Research, 175, 1666-1681.
- Williamson, E. (1992): *Airline Network Seat Stock Control: Methodologies and Revenue Impacts*. Ph.D. thesis Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Withiam, G. (2001): *A 4-C strategy for Yield Management*. Center for Hospitality Research at Cornell University.





- Enos, L. (2000): "Amazon apologizes for pricing blunder". E-Commerce Times.
- Geraghty, M. K. & Johnson, E. (1997): "Revenue Management Saves National Car Rental". Interfaces, 27(1), 107-127.
- Griffin, J. M. Baltagi, B. & Rich, D. (1995): "Airline Deregulation: The cost pieces of the puzzle". International Economic Review, 36(1), 245-258.
- Jones, P. & Lockwood, A. (1998): "Operations Management Research in the Hospitality Industry". International Journal Hospital Management, 17(2), 183-202.
- Kasilingam, R. (1996): "Air Cargo Revenue Management: Characteristics and Complexities". European Journal of Operations Research, 96(1), 36-44.
- Kimes, S.E. Chase, R.B. Choi, S. Lee, P.Y. & Ngonzi, E.N. (1998): "Restaurant Revenue Management". Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly, 39(2), 32-39.
- Kimes, S. (1999): "Group Forecasting Accuracy in Hotels". Journal of the Operational Research Society, 50(11), 1104-1110.
- Kimes, S. (2000): "A Strategic Approach to Yield Management", in A. Ingold, U. McMahon-Beattie and I. Yeoman (ed.), Yield Management: Strategies for the service industries, Continuum: London.
- Kimes, S. & Weatherford, L. (2003): "A comparison of forecasting methods for hotel revenue management". International Journal of Forecasting, 19(3), 401-415.
- Ladany, S. P. (1976): "Dynamic Operating Rules for Motel Reservations". Decision Science, 7, 829-840.
- Lee, A.O. (1990): *Airline Reservations Forecasting: Probabilistic and Statistical Models of the Booking Process*. Ph.D. thesis Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Lieberman, V & Yechiali, U. (1978): "On the Hotel Overbooking Problem". Management Science, 24, 1117-1126.
- Littlewood, K. (1972): "Forecasting and Control of Passenger Bookings". AGIFORS Symp. Proc, 12, 95-117.
- Luciani, S. (1999): "Implementing Yield Management in Small and Medium Sized Hotels: An Investigation of Obstacles and Success Factors in Florence Hotels". International Journal of Hospitality Management, 18, 129-142.
- Metters, R. & Vargas, V. (1999): "Yield Management for the Nonprofit Sector". Journal of Services Research, 1, 215-226.
- McGill, J. & Van Ryzin, G. (1999): "Revenue Management: Research Overview and Prospects". Transportation Science, 33(2), 233-256.
- Morris, J. Ree, P. & Maes P. (2000): "Sardine: Dynamic Seller Strategies in an Auction Marketplace". Proceedings of 2nd ACM, 128-134.
- Orkin, E. (1988): "Boosting Your Bootom Line with Yield Management". Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly, 28(4), pp.52-56.