

Simulación de distintas reglas de asignación de aparcamientos en un parking

José Guadix Martín, Luis Onieva Giménez, M^a del Carmen Delgado Román, Alejandro Escudero Santana

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas, Grupo Ingeniería de Organización. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Avda. de los Descubrimientos, s/n 41092. Sevilla. guadix@esi.us.es, onieva@esi.us.es, mdelgado@esi.us.es, aescudero@esi.us.es

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 la forma de simular distintos modelos de asignación de inventario, plazas de aparcamiento, aproximándose lo más posible al funcionamiento real de un aparcamiento, con el consecuente análisis de distintos indicadores, como la ocupación 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: Parking, inventario perecedero, simulación, asignación

1. Introducción del trabajo

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. 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.

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 y los centros de convenciones (McGill y Van Ryzin, 1999). Otros sectores en los que se comienza a utilizar son los aparcamientos (Teodorovic, 2006), cruceros, teatros, museos y el transporte ferroviario.

2. Reglas de asignación utilizadas

En este proyecto se ha realizado la simulación de un aparcamiento de automóviles aplicando tres modelos de asignación de los recursos de este. 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.

Se ha supuesto que la llegada de estos usuarios estará regida por un proceso de Poisson no homogéneo, 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.

Para la simulación del sistema se ha utilizado el software Arena 11, que combina la facilidad de uso de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación, Law y Kelton (2000). 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.

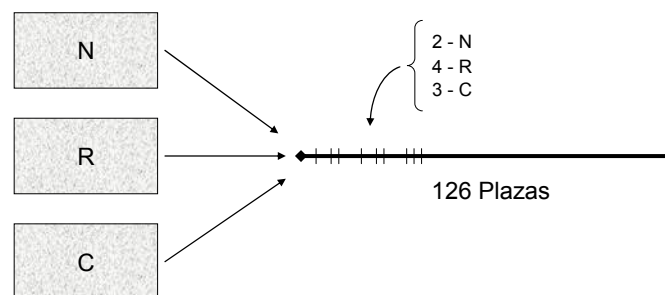


Figura 1. Método FC-FS

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.

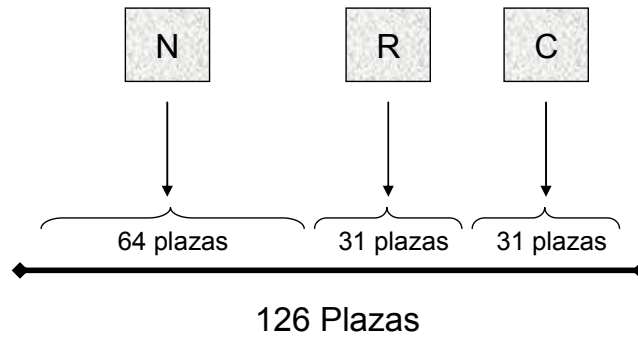


Figura 2. Método Distinct

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.

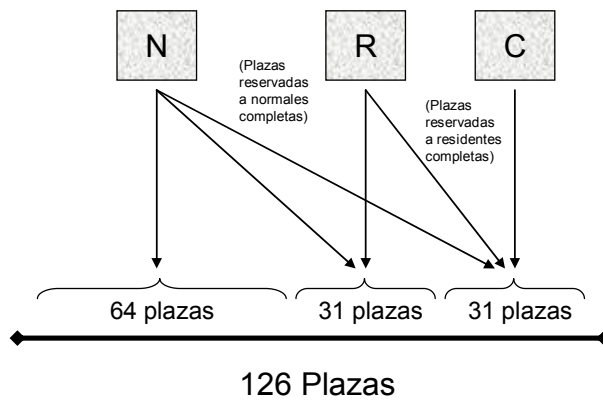


Figura 3. Método Anidado

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 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.

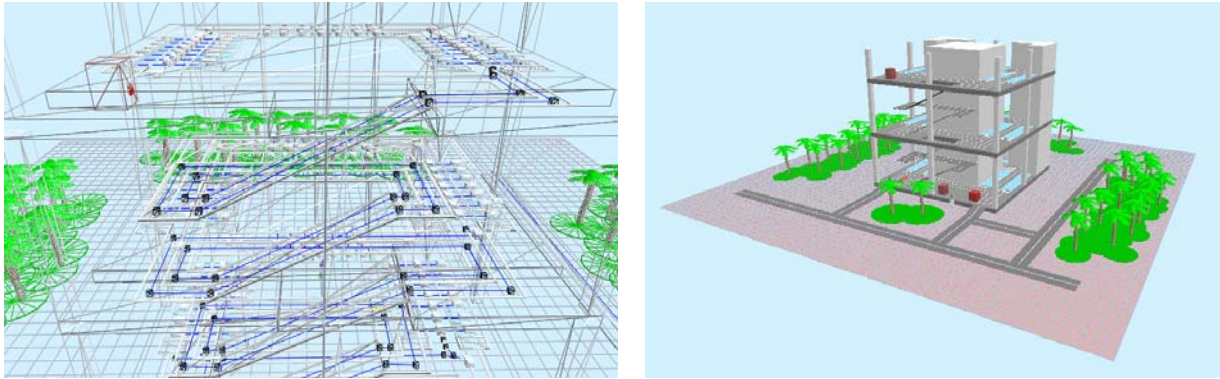


Figura 4. Vista de la construcción del aparcamiento y presentación final

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.

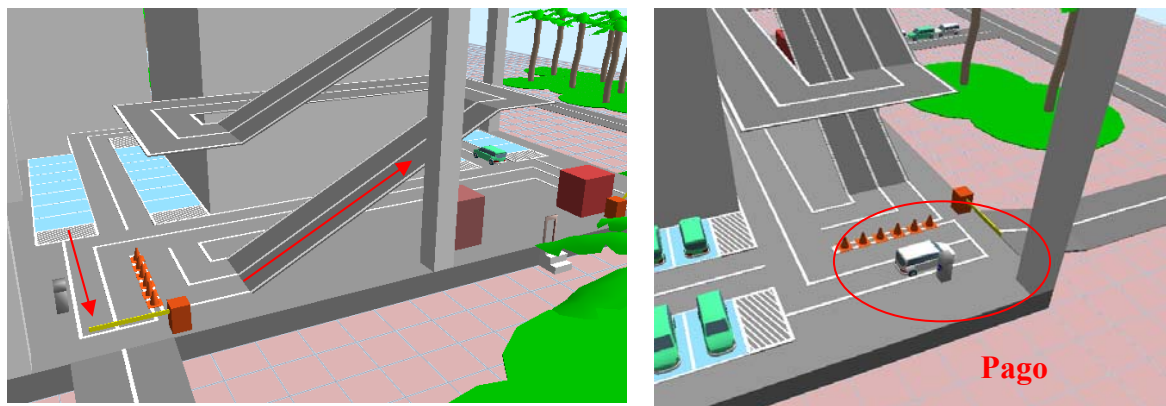


Figura 5. Sentidos de circulación planta baja y pago

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 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. Estos datos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Franjas horarias

Franja Horaria	Horario
Cara	8:00 – 14:00 y 16:00 – 19:00 horas
Barata	00:00 – 8:00, 14:00 – 16:00 y 19:00 – 24:00 horas

4. Resultados obtenidos

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 tablas y 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.

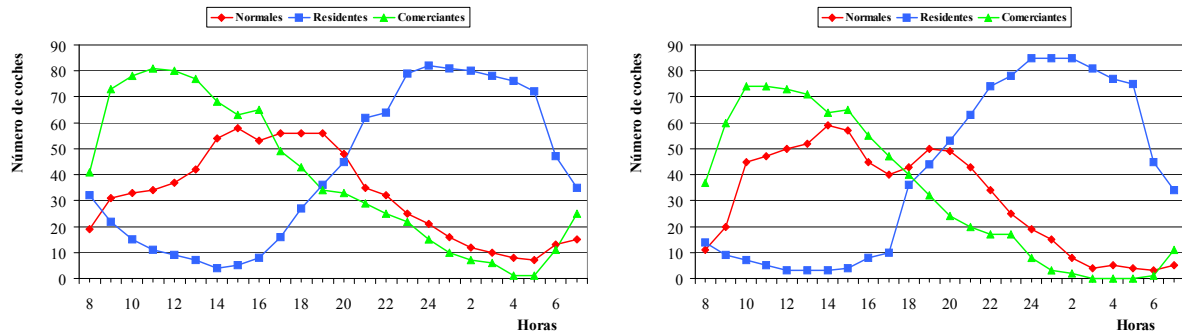


Figura 6. Ocupación del aparcamiento con el método FC-FS en tipologías alta y baja

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.

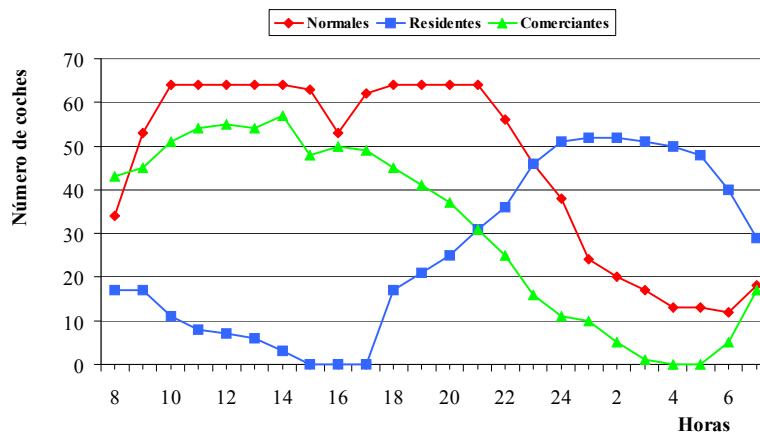


Figura 7. Ocupación del aparcamiento con el método distinct

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 ANIDADADO

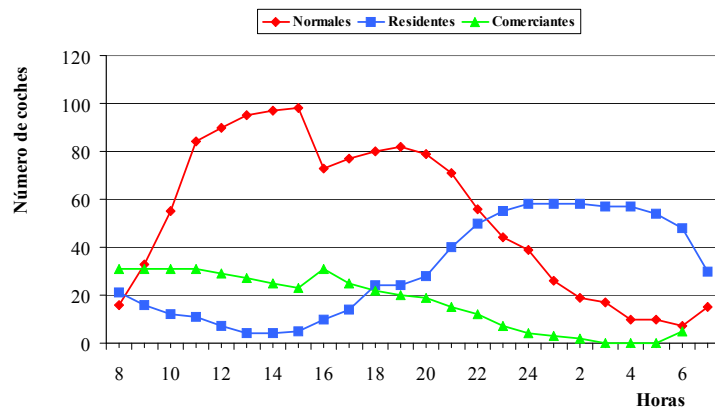


Figura 8. Ocupación del aparcamiento con el método anidado

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 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.

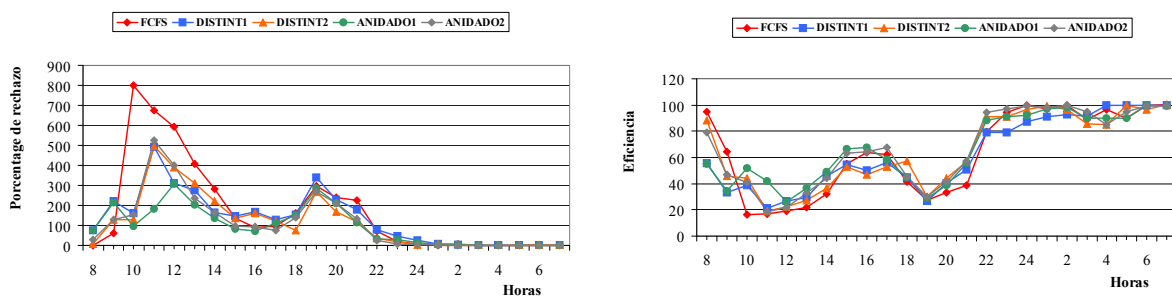


Figura 9. Tasa de rechazo y tasa de eficiencia en los métodos utilizados

Se aprecia que el método que presenta una mayor tasa de rechazo es el FC-FS. Posteriormente se sitúan los modelos distinct. Los métodos que presentan una tasa de rechazo menor son, como se observa en la gráfica, el anidado. Por otra parte, se puede apreciar que en general la tasa de rechazo tomará valores más altos por la tarde y sobre todo por la mañana, 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 son 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.

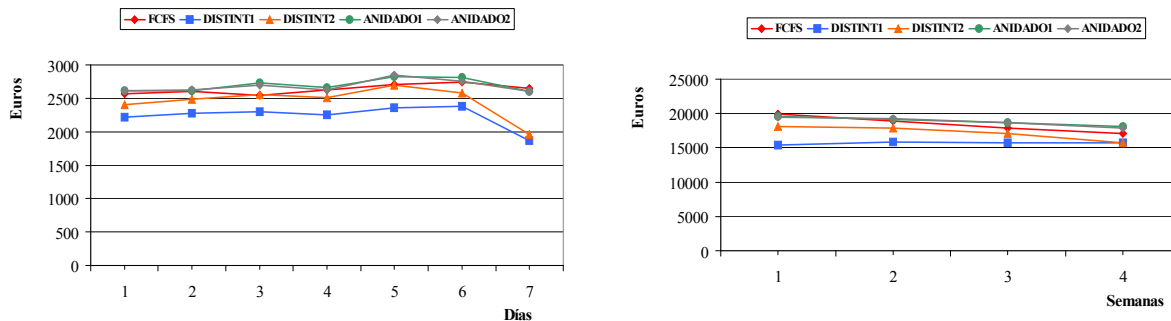


Figura 10. Ingresos diarios a lo largo de una semana y semanales en un mes

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 son el anidado. Posteriormente se encuentra el FC-FS. A continuación, se sitúa el método distinct el que presenta los peores resultados económicos.

Conclusiones

En este trabajo 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 eficiencia del gestor del aparcamiento. A la vista de los resultados obtenidos tras el análisis de 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. A continuación se encuadró el método distinct, que no consiguió superar a

los anteriores en ningún caso y que presentó unos ingresos considerablemente inferiores. Ello demuestra que en las experiencias computacionales realizadas la distribución de las unidades de inventario

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.

Referencias

- Kelton, W.D.; Sadowski, R.P.; Sadowski, D.A. (2001). *Simulation with Arena*. McGraw-Hill.
- Kimes, S. (2000). "A Strategic Approach to Yield Management". In A. Ingold, U. McMahon-Beattie and I. Yeoman (eds.), *Yield Management: Strategies for the service industries*. Continuum:London, pp. 3-14.
- Law, A.M.; 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*, 26:403-413.
- McGill, Jeffrey I.; Van Ryzin, Garrett J. (1999). "Revenue Management: research overview and prospects". *Transportation Science*, 33(2):233-256.
- Rockwell Software (2005). *Arena 3DPlayer User's Guide*. Rockwell Automation.
- Teodorovic, D.; Lucic, P. (2006). "Intelligent Parking Systems". *European Journal of Operational Research*, 175:1666-1681.