

Una propuesta de contenidos y métodos para la docencia sobre evaluación de sistemas informáticos

Javier Molero, Vicente Santonja

Departament d'Informàtica de Sistemes i Computadors
Universitat Politècnica de València
{jmolero|visan}@disca.upv.es

Resumen

Esta ponencia presenta los aspectos más importantes relacionados con los contenidos y métodos de la asignatura Evaluación de Sistemas Informáticos impartida en la Escola Universitària d'Informàtica de la Universitat Politècnica de València. La exposición incluye los contenidos teóricos y prácticos de la asignatura, la metodología de enseñanza utilizada y algunos comentarios sobre la bibliografía recomendada en su docencia.

1 Introducción

Una peculiaridad muy destacada de la evaluación de prestaciones en la Informática estriba en que existe como disciplina propia, siendo un caso excepcional dentro de la ingeniería donde, tradicionalmente, la evaluación de prestaciones de las máquinas está incluida en la disciplina de estudio de éstas y no de forma aislada; así, no han existido, por ejemplo, áreas independientes como evaluación de motores eléctricos, térmicos, etcétera.

En Informática, la evaluación de prestaciones es un factor clave que tiene una gran influencia en el diseño, desarrollo, configuración y sintonización de un computador o, en general, sistema informático. Es por ello que la evaluación de prestaciones es necesaria a lo largo de todo su ciclo de vida.

En general, las diferentes áreas que integran la Informática (arquitectura, redes, sistemas operativos, bases de datos, ...) han venido estudiándose dejando de lado los aspectos relacionados con las prestaciones; temas que, por otra parte,

se han tratado en libros dedicados exclusivamente a este respecto.

Sin embargo, desde finales de los años ochenta y principios de los noventa, esta visión separada sistema-prestaciones se ha abandonado (parcialmente) y tratado de forma conjunta, al menos en el área de la arquitectura de computadores. Por ejemplo, en el libro de J. L. Hennessy y D. A. Patterson titulado *Arquitectura de Computadores. Un enfoque cuantitativo* y en el de W. Stallings titulado *Arquitectura y Organización de Computadores. Diseño para optimizar prestaciones*, podemos ver un enfoque conjunto de descripción del funcionamiento de la arquitectura teniendo en cuenta las prestaciones.

Este nuevo enfoque en el caso de los procesadores es muy importante, pues el continuo cambio en su arquitectura va íntimamente ligado a la mejora de prestaciones. Esta misma aproximación es la que se considera en la propuesta de currículum conjunto de ACM e IEEE, donde el tema de evaluación de prestaciones no aparece como un tema específico sino que está ligado a cada una de las subáreas consideradas.

Así y todo, aunque este enfoque conjunto sistema-prestaciones se vaya extendiendo cada vez más, hecho por otro lado tremendamente positivo, siempre será necesario estudiar en alguna/s asignatura/s de las titulaciones informáticas los temas más teóricos y generales que hacen referencia a la evaluación de prestaciones: métodos analíticos y su aplicación a la evaluación, técnicas de simulación, técnicas de medida, caracterización de la carga y técnicas de *benchmarking*. Todos estos temas son aplicables a cualquier área informática, y por tanto, susceptibles de aislamiento y estudio independiente.

Por último, cabe resaltar que la evaluación

de prestaciones es un área de especialización en la cual existen diversas organizaciones: SIGMETRICS (*Special Interest Group on Measurement and Evaluation of the ACM*), IFIP Working Group 7.3 en modelado de computadores, CMG (*The Computer Measurement Group*), CPEUG (*The Computer Performance Evaluation Group*) y ECOMA (*The European Computer Measurement Association*). También existe cada día un mayor número de libros y revistas especializadas en estos temas.

En las secciones siguientes se van a exponer los aspectos más destacados de la asignatura que trata la evaluación de prestaciones dentro del plan de estudios de la Escola Informàtica de València dentro de las titulaciones en Ingeniería Técnica en Informática.

2 La asignatura ESI

La asignatura Evaluación de Sistemas Informáticos (ESI) representa el marco que ofrece el actual plan de estudios de la Escola Universitària d'Informàtica donde se trata el estudio de los temas relacionados con la evaluación del rendimiento de los equipos informáticos. Se sitúa tanto en la titulación de Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas (ITIS) como en la de Gestión (ITIG). Es una asignatura de carácter optativo que se imparte en el primer cuatrimestre del tercer curso, esto es, en el quinto cuatrimestre.

El número de créditos asignados a esta asignatura, así como sus descriptores y áreas de conocimiento asociados, se muestran a continuación:

Créditos.

- Teóricos (Total: 3).
 - Lección magistral: 1.5
 - Seminario: 1.5
- Prácticos (Total: 3).
 - Laboratorio: 3

Descriptores. Técnicas de medida. Caracterización de la carga. Cuellos de botella. Benchmarks. Mejora de prestaciones. Explotación de sistemas informáticos.

Áreas de conocimiento. Arquitectura y Tecnología de Computadores.

2.1 Contexto y requisitos previos

Los prerequisites recomendados son las asignaturas relacionadas con la estructura de los computadores (EC1 y EC2), las de sistemas operativos (SO1 y SO2) y las de estadística (ES1 y ES2). La Figura 1 muestra gráficamente la relación temporal entre ESI y estas asignaturas relacionadas indicando el cuatrimestre en que se imparten.

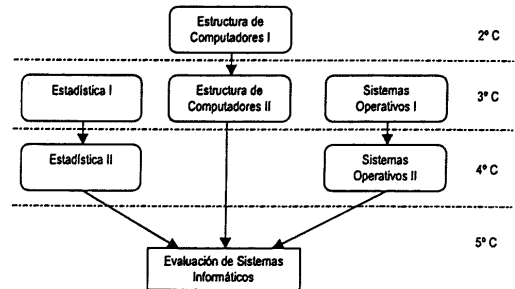


Figura 1: Relación de ESI con otras asignaturas

La asignatura SO1 presenta los fundamentos de los sistemas operativos, profundizando en el concepto de proceso. Así mismo, introduce la utilización del sistema operativo multiusuario Unix, que es el empleado principalmente en ESI. La asignatura SO2 completa la descripción de la estructura y el funcionamiento de un sistema operativo iniciado en SO1, estudiando los aspectos relacionados con la gestión de la memoria virtual, la implementación del sistema de ficheros y los sistemas de protección, haciendo especial hincapié en los sistemas operativos Unix y DOS.

Por otro lado, la asignatura ES1 introduce los conceptos previos de estadística descriptiva y desarrolla las ideas básicas del cálculo de probabilidades, así como los modelos de cadenas de Markov y teoría de colas dentro de los procesos estocásticos; se hace hincapié en el manejo de los paquetes estadísticos STATGRAPHICS y QSB. La asignatura ES2 desarrolla las técnicas básicas de análisis de la varianza, modelos de regresión y diseño de experimentos mediante el paquete STATGRAPHICS.

En resumen, los conocimientos previos que se aconseja a los alumnos para cursar la asignatura de ESI se pueden resumir en: manejo y conocimiento básico del sistema operativo Unix (gestión de procesos, memoria virtual y sistema de ficheros) y conocimientos básicos de estadística

(cálculo básico de probabilidades y distribuciones estadísticas).

Los alumnos de ESI han cursado previamente las asignaturas aconsejadas como prerrequisitos, aunque no tienen por qué haberlas superado ya que no existen incompatibilidades. Por otro lado, no todos los alumnos han cursado la asignatura ES2, dado su carácter optativo para aquellos que cursan la especialidad ITIS.

Puesto que la asignatura ESI pertenece a ambas especialidades, ITIS e ITIG, existe un gran número de alumnos matriculados. A esto se añade el hecho de que algunos de estos alumnos acceden posteriormente a la titulación de Ingeniero en Informática (II), donde la asignatura ESI tiene carácter obligatorio. Aún así, la política de la EUI hasta ahora ha sido establecer un único grupo de alumnos de teoría: en el curso 97/98 se han matriculado 120 alumnos.

2.2 Objetivos globales

Los objetivos generales que se pretenden alcanzar con la impartición de esta asignatura son los siguientes:

- Mostrar la relación entre las prestaciones y el diseño, y posterior explotación, de los sistemas informáticos.
- Aprender los conceptos básicos para la realización de medidas de rendimiento y su posterior análisis.
- Diseñar modelos analíticos, fáciles de resolver, como técnica para obtener índices de prestaciones.
- Comprender la importancia de la detección de cuellos de botella en los sistemas con recursos compartidos y lograr eliminarlos.
- Llevar a cabo estudios de *benchmarking* para comparar el rendimiento de diferentes equipos informáticos.

3 Programa propuesto

Los contenidos que se han seleccionado para la asignatura Evaluación de Sistemas Informáticos a fin de conseguir los objetivos propuestos son los que se muestran a continuación. Para su secuenciación se ha tenido en cuenta la posibilidad

de establecer una adecuada planificación de las prácticas a lo largo del curso.

El programa que se propone para esta asignatura está formado por cuatro bloques temáticos (BT). Los temas teóricos de cada bloque y sus contenidos (de forma resumida) se presentan a continuación:

1. Introducción

- (a) Introducción a la evaluación de prestaciones (T1)
 - i. Conceptos fundamentales
 - ii. Magnitudes a medir
 - iii. Magnitudes que caracterizan la carga
 - iv. Índices de rendimiento
 - v. Variables que influyen en el comportamiento
 - vi. Sistemas de referencia
 - vii. Técnicas de evaluación
 - viii. Aproximación sistemática a la evaluación de prestaciones

2. Monitorización y caracterización de la carga

- (a) Técnicas de medida y representación de resultados (T2)
 - i. Concepto y técnicas de medida
 - ii. Monitor. Estructura básica
 - iii. Clasificación de los monitores
 - iv. Comparación de monitores
 - v. Presentación de resultados
- (b) Caracterización de la carga (T3)
 - i. Representatividad de un modelo de carga
 - ii. Cargas de test o de prueba
 - iii. Técnicas de implementación de los modelos de carga
 - iv. *Benchmarks*

3. Técnicas analíticas

- (a) Introducción a las técnicas analíticas: análisis operacional (T4)
 - i. Estación de servicio: variables operacionales
 - ii. Redes de colas de espera
 - iii. Leyes operacionales

- iv. Estudio de casos prácticos
- v. El lenguaje QNAP
- (b) Análisis de cuellos de botella (T5)
 - i. Detección y eliminación de cuellos de botella
 - ii. Análisis de cuellos de botella
 - iii. Estudio de casos prácticos
- 4. *Selección, sintonización y explotación*
 - (a) Selección y configuración de computadores. *Benchmarking* (T6)
 - i. Definiciones y necesidad
 - ii. Factores influyentes
 - iii. Errores comunes en el *benchmarking*
 - iv. Descripción de *benchmarks*
 - v. Unidades de medida
 - vi. Ejemplo: PCW
 - (b) Mejora de las prestaciones de un sistema. Sintonización (T7)
 - i. Definición de objetivos
 - ii. Caracterización de la carga
 - iii. Selección de la instrumentación
 - iv. Diseño y planificación de la sesión de medida
 - v. Validación
 - vi. Ejemplos de sintonización
 - (c) Explotación (T8)
 - i. Metodología de explotación
 - ii. El departamento de explotación
 - iii. Técnicas utilizadas

Por su parte, las prácticas se agrupan en tres bloques prácticos (BP) correspondientes a tres de los cuatro bloques teóricos:

- 1. *Monitorización y caracterización de la carga*
 - (a) Monitorización en sistemas Unix (P1)
 - (b) Caracterización de la carga de un sistema (P2)
- 2. *Técnicas analíticas*
 - (a) Sistema interactivo (P3)
 - (b) Sistema transaccional (P4)
 - (c) Especificación gráfica de redes (P5)

- (d) Sistema mixto (P6)
- (e) Análisis de modificación (P7)

3. *Selección, sintonización y explotación*

- (a) Comparación de diferentes sistemas con *benchmarks* estándares (P8)

Asumiendo un total de 15 semanas lectivas en las que las clases teóricas se organizan en dos horas por semana, la distribución de tiempos y créditos se muestra a continuación: la Tabla 1 muestra la distribución de tiempos y créditos correspondientes a los bloques temáticos de la asignatura, mientras que la Tabla 2 muestra la propuesta para la parte práctica.

Bloque temático	Horas	Créditos
BT 1	3	0.3
BT 2	8	0.8
BT 3	13	1.3
BT 4	6	0.6
Total	30	3

Tabla 1: Distribución de tiempos y créditos de los bloques de teoría

Bloque práctico	Horas	Créditos
BP 1	8	0.8
BP 2	18	1.8
BP 3	4	0.4
Total	30	3

Tabla 2: Distribución de tiempos y créditos de los bloques de prácticas

4 Prácticas y herramientas

Todas las prácticas se llevan a cabo en el Laboratorio de Arquitectura y Modelado de Computadores de que dispone el departamento. Este laboratorio cuenta con veinte computadores PC-AT basados en el procesador Pentium, en los cuales está instalado el *software* necesario para hacer las prácticas: un emulador de terminal y un servicio de transferencia remota de ficheros para la conexión a un servidor Unix (Linux).

Este servidor Unix es un PC-AT dotado de más recursos (memoria principal y subsistema

de disco) que el resto de máquinas del laboratorio. En él se ha instalado el programa QNAP, las herramientas de monitorización y los *benchmarks* que se van a utilizar para realizar las prácticas. Por otro lado, la práctica con el editor gráfico de redes de colas WinNet [8] se lleva a cabo sobre Windows 95 en cada computador particular. Esta herramienta permite la edición y resolución (por técnicas analíticas o simulación) de redes de colas simples. Es capaz de generar el código en lenguaje QNAP correspondiente a la red especificada de forma automática (ver Figura 2).

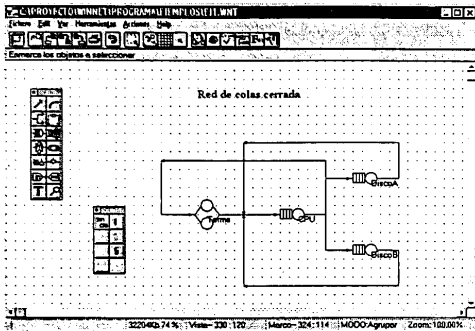


Figura 2: Pantalla ejemplo del programa WinNet

Los aproximadamente 120 alumnos del curso 1997/98 se han dividido en tres grupos de cuarenta, cada uno de ellos organizados en parejas. Los alumnos han de ir al laboratorio una media de dos horas a la semana, y en la práctica la duración de cada sesión de laboratorio depende del trabajo a realizar, pudiendo variar de una práctica a otra.

En la gran mayoría de prácticas propuestas (monitorización, *benchmarking* y uso de QNAP) los alumnos han de manejar con soltura las posibilidades que ofrece sistema operativo Unix, ya estudiado en las asignaturas SO1 y SO2. Por otro lado, y como efecto lateral, también resulta muy interesante para los alumnos el manejo de herramientas de comunicación como telnet y ftp estudiadas en la asignatura de Teleinformática que se imparte al mismo tiempo que ESI.

De entre todas las herramientas utilizadas destaca QNAP (*Queueing Network Analysis Package*) [7]. Se trata de un lenguaje de especificación de modelos desarrollado por Simulog que sirve para describir, manejar y resolver modelos de re-

des de colas. Dispone de diversos algoritmos de resolución (*solvers*) para modelos analíticos así como de utilidades para la resolución mediante simulación. Aunque se diseñó inicialmente como una herramienta de modelado para realizar análisis cuantitativos de arquitecturas complejas de computadores, hoy en día se puede considerar de propósito general, sirviendo para modelar sistemas mediante redes de colas: bases de datos, sistemas de comunicaciones, sistemas integrados de fabricación, etcétera. En la actualidad se dispone de 20 licencias para PC en entorno MS-DOS y de 5 licencias de una versión para máquinas HP-9000 junto al entorno de desarrollo de modelos Modline en XWindow.

5 Planificación de la teoría y prácticas

La Tabla 3 muestra la distribución de tiempos y créditos correspondientes a los temas de la asignatura, mientras que la Tabla 4 muestra la propuesta para la parte práctica.

Tema	Semanas	Horas	Créditos
T1	1.5	3	0.3
T2	2	4	0.4
T3	2	4	0.4
T4	3.5	7	0.7
T5	3	6	0.6
T6	1	2	0.2
T7	1	2	0.2
T8	1	2	0.2
Total	15	30	3

Tabla 3: Tiempos y créditos por temas

Por último, en la Figura 3 se muestra la sincronización entre las clases teóricas y las prácticas, apreciándose que, como es de desear, las prácticas de cada tema no dan comienzo antes de que se haya empezado a impartir la correspondiente teoría.

6 Metodología y evaluación

Las clases de teoría se imparten como clases magistrales, teniendo como principal fin el presentar sistemáticamente, con rigor científico y claridad expositiva, el contenido de la asignatura.

Práctica	Horas	Créditos
P1	4	0.4
P2	4	0.4
P3	4	0.4
P4	4	0.4
P5	2	0.2
P6	4	0.4
P7	4	0.4
P8	4	0.4
Total	30	3

Tabla 4: Tiempos y créditos por práctica

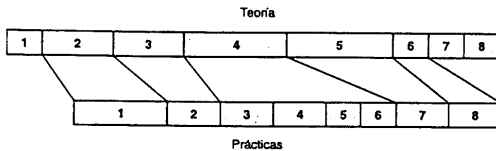


Figura 3: Sincronización entre teoría y prácticas

El material didáctico empleado difiere según el tema que se quiere explicar. En principio se hace uso de la pizarra, aunque las transparencias se utilizan cuando es necesario introducir conceptos o representar fotografías o diseños gráficos complejos. En la Figura 4 muestra alguna de las transparencias empleadas y de las cuales han podido disponer previamente los alumnos para seguir las explicaciones. Como nota anecdótica, a partir de una encuesta se ha comprobado la predilección de los alumnos por la pizarra frente a las transparencias.

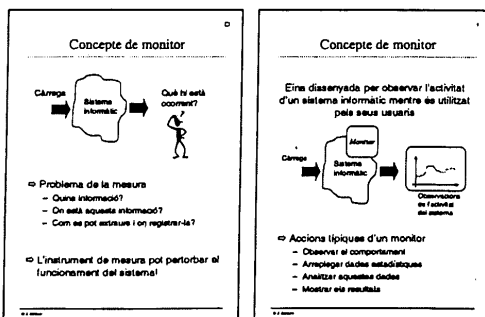


Figura 4: Detalles de transparencias

Por otro lado, la resolución de problemas es un apartado muy importante en la docencia de esta asignatura, ya que se consigue que el alum-

no enlace los conceptos explicados en las clases teóricas con su aplicación práctica. Además, la experiencia indica que la explicación en clase de teoría del trabajo que se realizará en el laboratorio es muy beneficioso para el alumno.

La nota de la asignatura, obtenida a partir de un examen escrito de preguntas cortas, se divide en dos partes iguales: una dedicada a los contenidos más teóricos y otra a la resolución de problemas prácticos, generalmente relacionados con el análisis operacional y aspectos de la monitorización tratados en el laboratorio. La realización de las prácticas y la asistencia al laboratorio es requisito imprescindible para poder presentarse al examen.

Dado que se trata de una asignatura situada en el último curso de la carrera, suelen plantearse trabajos de carácter individual sobre la temática tratada, que pueden, en función de su calidad, mejorar la nota final. Estos trabajos tienen como objetivo primordial enriquecer los conocimientos del alumno a través de su propia indagación en la bibliografía sobre el tema y la puesta en marcha de alguna actividad creativa. En última instancia, siempre se deja la posibilidad de que estos trabajos esdengangen proyectos final de carrera. Sin embargo, según nuestra experiencia, el número de alumnos interesado en desarrollar un trabajo paralelo de la asignatura es ínfimo; la causa parece radicar en la gran carga lectiva que sufren debido a la estructura de los actuales planes de estudio (horarios desordenados, excesivo número de asignaturas, simultaneidad de horas de teoría y práctica de diferentes asignaturas, etcétera).

El índice de aprobados es bastante alto. En la Figura 5 se muestran los resultados de los tres últimos años. La parte inferior de las barras (oscuro) muestra el porcentaje de suspensos, la del medio (claro) indica el porcentaje de aprobados y la superior (oscuro) muestra el porcentaje de no presentados.

7 Comentarios a la bibliografía

En esta sección se realiza un breve comentario acerca de los libros recomendados de la asignatura. El orden de aparición es el alfabético.

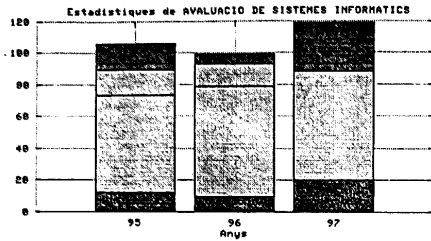


Figura 5: Estadísticas de aprobados

Referencia [1]

En este libro se puede encontrar una aproximación a la evaluación de prestaciones muy clara y sencilla. Dedicar varios capítulos al análisis operacional, la caracterización de la carga, y la planificación de la capacidad. Contiene numerosos ejemplos y aplicaciones de gran interés, así como gráficos aclaratorios. Incluye además la implementación en Pascal de muchas de las fórmulas utilizadas en el análisis operacional. Aunque abarca la mayor parte del temario de la asignatura, deja de lado el *benchmarking* y la explotación, y no trata la monitorización en detalle. En resumen, se trata de un libro ameno de leer y muy recomendable.

Referencia [2]

Aunque la mayor parte del libro trata sobre técnicas de programación en procesadores RISC para aumentar las prestaciones, dedica dos capítulos a las técnicas de *benchmarking*, en los cuales se incluye una descripción de algunos de los *benchmarks* más utilizados. Así mismo, incluye un capítulo dedicado a las técnicas de medida de tiempos en sistemas Unix muy interesante desde el punto de vista de las prácticas de la asignatura. Así mismo, resultan de gran interés los capítulos dedicados al análisis del comportamiento de programas (*profiling*).

Referencia [3]

Texto clásico que trata la casi totalidad de temas relacionados con la evaluación de prestaciones: caracterización de la carga, monitorización, sintonización, representación de resultados, modelado analítico y simulación. Aunque incluye numerosos ejemplos y referencias bibliográficas,

no está escrito siguiendo un criterio didáctico sino que más bien está dirigido a personas que tengan experiencia sobre estos temas. Le falta una revisión que actualice gran parte de los ejemplos planteados, ya que están basados en sistemas informáticos de finales de los años setenta y principios de los ochenta.

Referencia [4]

Se trata de un texto de gran difusión escrito con un objetivo puramente didáctico: los temas no son de una dimensión excesiva, y prodigan en ellos cantidad de ejemplos, recomendaciones y cuadros donde se resumen los conceptos más interesantes del tema. Se podría afirmar que esta referencia ha sustituido definitivamente a [3] como libro de texto para asignaturas sobre evaluación y modelado de sistemas informáticos. Trata la mayoría de los temas (incluyendo técnicas estadísticas a las que les da mucha importancia), aunque deja de lado la sintonización y explotación.

Cada uno de los temas acaba con una serie de cuestiones y ejercicios muy interesantes, incluyendo al final del libro las soluciones de los mismos (ojo con las soluciones: algunas son erróneas). También destaca la extensa bibliografía incluida al final del libro. Altamente práctico y ameno, se trata de un texto muy recomendable para la asignatura.

Referencia [5]

Texto dedicado exclusivamente al análisis de modelos de colas, el cual es tratado de una manera amena y al mismo tiempo rigurosa. Aunque dedica muchos capítulos a las técnicas de resolución de este tipo de modelos, tanto monoclase como multiclase, no olvida la aplicación de éstas a numerosos ejemplos de aplicación, como pueden ser la memoria, el subsistema de entrada/salida basado en disco y los procesadores.

Resulta resaltable la gran cantidad de ejercicios al final de cada tema así como la bibliografía reseñada. De especial interés para los temas de la asignatura dedicados a los modelos analíticos mediante redes de colas de espera y su aplicación en la detección y eliminación de cuellos de botella.

Referencia [6]

Este libro ha sido escrito por profesores del Departament d'Informàtica de Sistemes i Computadors ¹ con el objetivo de ofrecer a los alumnos un libro de texto que se adecuara específicamente a la docencia de la asignatura, y fruto de la experiencia de los autores en la impartición de su predecesora en el plan viejo de estudios denominada *Configuración, Evaluación y Explotación de Sistemas Informáticos*.

En consecuencia se adapta a la totalidad del programa propuesto, aunque en ocasiones el libro excede el nivel de detalle que se emplea en clase, ya que se ha intentado que fuera autocontenido. Destaca la gran cantidad de problemas resueltos y planteados que en él se encuentran.

Referencia [9]

Texto que resulta muy ameno de leer. Aunque algo anticuado, presenta los conceptos teóricos básicos sobre evaluación de prestaciones de una manera agradable y sencilla. No incluye ejemplos prácticos ni ejercicios. De especial interés son los capítulos dedicados a las herramientas de medida, modelos analíticos y modelos de carga. Presenta una numerosa bibliografía al final de cada capítulo. El apéndice pretende ser una aplicación práctica sobre un hipotético sistema informático de todos los conceptos teóricos expuestos en los capítulos precedentes.

Referencias

- [1] J. Cady, B. Howarth. *Computer Systems Performance Management and Capacity Planning*. Prentice-Hall, 1990.
- [2] K. Dowd. *High Performance Computing*. O'Reilly & Associates, 1993.
- [3] D. Ferrari, G. Serazzi, A. Zeigler. *Measurement and Tuning of Computer Systems*. Prentice-Hall, 1983.
- [4] R. Jain. *The Art of Computer Systems Performance Analysis. Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling*. John Wiley & Sons, 1991.
- [5] E. Lazowska, J.Z. Zahorjan, G.S. Graham, K.C. Sevcik. *Quantitative System Performance. Computer System Analysis Using Queueing Network Models*. Prentice-Hall, 1984.
- [6] R. Puigjaner, J.J. Serrano, A. Rubio. *Evaluación y Explotación de Sistemas Informáticos*. Síntesis, 1995.
- [7] QNAP2 versión 9.3. *Reference Manual*. Simulog, 1996.
- [8] V. Santonja, J. Molero, M. Alonso, María E. Gómez. *WinNet: una herramienta docente para la especificación y resolución de redes de colas*. III Jornadas de Informática. Cádiz. Julio, 1997.
- [9] L. Svobodova. *Computer Performance and Evaluation Methods. Analysis and Applications*. Elsevier, 1976.

¹El profesor R. Puigjaner pertenece a la Universitat de les Illes Balears.