

Experiencias Docentes

La importancia del pensamiento estadístico en la Ingeniería de Fiabilidad

Raquel Caro y Fernando García Jiménez

Revista de Investigación



Volumen II, Número 2, pp. 025-034, ISSN 2174-0410
Recepción: 5 Jul'12; Aceptación: 25 Sep'12

1 de octubre de 2012

Resumen

Existe de modo creciente una notable inquietud por el control de la calidad en el tiempo, lo que ha dado lugar a la búsqueda de métodos capaces de abordar eficazmente el análisis de la fiabilidad. Los estudios de Grado y Máster de Ingeniería suelen ofrecer asignaturas tales como Estadística, Estadística Industrial, Control y Gestión de la Calidad o similares, donde se estudia la importancia de la fiabilidad y la calidad de los sistemas. En el ejercicio de sus atribuciones los ingenieros deberían desarrollar una nueva forma de pensar. El pensamiento estadístico es una manera de pensar, de comportarse, de actuar, de trabajar, de interacción con otros.

Palabras Clave: calidad, fiabilidad, pensamiento estadístico, modelos de probabilidad, software estadístico.

Abstract

There is growing so considerable concern about the quality control at the time, which has led to the search for methods capable of addressing effectively the reliability analysis. Degree and Master of Engineering Studies usually offer courses such as Statistics, Industrial Statistics, Control and Quality Management or similar, which examines the importance of reliability and quality of the systems. Engineers should develop a new way of thinking. Statistical thinking is a way of thinking, behaving, working and interacting with others.

Keywords: quality, reliability, statistical thinking, probability distributions, statistical software.

1. Introducción

La gran complejidad de los procesos industriales y su obligado funcionamiento en continuo, implican considerables riesgos funcionales que, de no ser analizados y controlados, podrían influir considerablemente sobre la calidad de los bienes y servicios que adquirimos.

La mayor parte de los bienes y servicios se obtienen y se hacen llegar a sus destinatarios mediante unos sistemas productivos. A lo largo de su ciclo de vida cada sistema productivo, a menudo de gran dimensión tanto por el número de personas que trabajan en ellos como por el tamaño y el valor de las instalaciones y equipos que utilizan, pasa por diferentes fases hasta que

se alcanza el régimen normal de funcionamiento. La última fase, llamada de operación, consiste en la construcción y puesta en marcha del sistema y es la única auténticamente productiva.

En esta fase el sistema se puede ver sometido a fallos que entorpecen o, incluso, interrumpen temporal o definitivamente su funcionamiento. Simplemente el paso del tiempo provoca en algunos bienes disminuciones evidentes de sus características, cualidades o prestaciones. Con el mantenimiento se pretende reducir la incidencia negativa de dichos fallos, ya sea disminuyendo su número o atenuando sus consecuencias[7].

Del estudio de los fallos de los productos, equipos y sistemas es de lo que trata la fiabilidad, un factor esencial en la seguridad de un producto. Se dice que un sistema o dispositivo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos, o cuando aparecen efectos indeseables según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión. El fallo del sistema tendrá unas repercusiones que dependerán: del tipo de sistema, del tipo de misión que este desempeñando y del momento en que se produzca el fallo. Es deseable, y en ocasiones imprescindible, que los sistemas sean fiables en el sentido de que el usuario pueda trabajar con ellos sin que exista un elevado riesgo de fallo. El nivel de fiabilidad, o seguridad de operación satisfactoria, dependerá de la naturaleza del objetivo del sistema [5].

El que un sistema tenga cierta fiabilidad llevará un coste y un esfuerzo asociado, por lo que la exigencia de fiabilidad para un sistema debe adecuarse a su objetivo y trascendencia.

2. Estudio de la longevidad

Cualquier sistema está constituido por una serie de dispositivos interconectados de forma tal que sean capaces de realizar unas funciones concretas. Estos bloques funcionales pueden estar constituidos por una única componente o por complejos subsistemas, dependiendo del tipo de sistema y de las interconexiones en el mismo. El estado de las componentes y la estructura del sistema determinan si un sistema está funcionando o no. En definitiva, cuantificar la fiabilidad de un sistema requiere, generalmente, considerar la estructura del sistema y la fiabilidad de sus componentes [8].

La ingeniería de fiabilidad es el estudio de la longevidad y el fallo de los equipos y sistemas. Para investigar las causas por las que los dispositivos envejecen y fallan se aplican principios científicos y matemáticos. Este tipo de investigación tiene como objetivo alcanzar una mayor comprensión de los fallos de los dispositivos para poder identificar las mejoras que pueden introducirse en los diseños de los productos para aumentar su vida o por lo menos para limitar las consecuencias adversas de los fallos.

2.1. Calidad versus Fiabilidad

La calidad de los productos y servicios se ha convertido en un factor de decisión importante en la mayoría de los negocios del mundo actual. Independientemente de si el consumidor es un individuo, una multinacional o una tienda minorista, cuando el consumidor está haciendo una decisión de compra, es posible que asigne igual importancia a la calidad que al coste y al tiempo de entrega. Por tanto, la mejora de la calidad se ha convertido en una preocupación principal para muchas empresas. El campo del control estadístico de la calidad puede definirse en un sentido amplio como aquellos métodos estadísticos y de ingeniería que se usan para medir, monitorizar, controlar y mejorar la calidad.

Se ha vuelto cada vez más evidente que elevar los niveles de calidad puede dar lugar a costes reducidos, un mayor grado de satisfacción del cliente y, por tanto, mayor confiabilidad. Esto ha dado como resultado un énfasis renovado en las técnicas estadísticas para diseñar ca-

alidad en productos y para identificar problemas de calidad en varias etapas de producción y distribución.

No es práctico inspeccionar la calidad dentro de un producto: el producto debe hacerse correctamente la primera vez. En consecuencia, el proceso de fabricación debe ser estable o repetible y tener la capacidad de operar con poca variabilidad en torno de la dimensión objetivo o nominal. El control estadístico de procesos en línea constituye una poderosa herramienta para conseguir la estabilidad de los procesos y para mejorar su capacidad mediante la reducción de la variabilidad.

Hasta el más modesto de los productos o servicios se puede ofrecer o presentar con amabilidad y cortesía, incrementando automáticamente su valor. La experiencia global del cliente influye en forma decisiva en la percepción de la calidad, por lo que una percepción de mayor calidad reduce el sentimiento de incertidumbre o de riesgo en la decisión de compra, haciendo que vender resulte más fácil.

A corto plazo, la calidad capta clientes, y a largo plazo, los conserva, generando un vínculo de fidelidad con la marca. Las firmas cuyos productos o servicios son de máxima calidad, son las que generan un alto flujo de beneficios, garantizando su prosperidad en el futuro, con el objetivo de desarrollar mejoras en la calidad de las operaciones de nuestros clientes, a fin de lograr organizaciones aún más eficientes y rentables que afiancen de forma sostenida su crecimiento.

Los criterios ISO 9000 son una serie de normas que definen los requerimientos mínimos que son aceptados internacionalmente para el desarrollo e implementación de sistemas de gestión de la calidad, que en el actual contexto de gran competitividad a escala global en la economía, han pasado a ser indicadores uniformes de las crecientes exigencias de calidad que los clientes demandan.

Esta situación presenta a los mercados con una gran conciencia sobre la calidad. Los clientes, una vez satisfechos con la competencia técnica, ahora demandan mayor confiabilidad en la calidad de los proveedores y buscan a aquellos que la aseguran.

Por otra parte, en todos los ámbitos de la ingeniería es fundamental el estudio del tiempo transcurrido hasta que se produce un fallo en un sistema. La fiabilidad se refiere a la permanencia de la Calidad de los productos o servicios a lo largo del tiempo. Decimos que un aparato o componente es fiable si desarrolla adecuadamente su labor a lo largo de su vida útil. Un aparato fiable funcionará correctamente durante su vida, mientras que otro que no lo sea dará numerosos problemas.

El estudio de la calidad, en una primera etapa, se limita a garantizar que el producto sale de fábrica en buenas condiciones. La fiabilidad intenta garantizar que el producto permanecerá en buenas condiciones durante un periodo razonable de tiempo. Los consumidores actuales exigen calidad/fiabilidad a cualquier bien duradero que adquieran. De hecho la legislación evoluciona otorgando responsabilidad a fabricantes o constructores durante determinados periodos en los que deben hacerse cargo de los fallos de los productos por defectos ocultos que pudieran aparecer tras la adquisición y uso. La competencia en los mercados es tal, que la salida de productos o servicios de baja calidad/fiabilidad es cada vez más difícil y únicamente sobreviven a largo plazo aquellas empresas con una excelente imagen de calidad y fiabilidad.

El concepto más simple de fiabilidad es aquel que comprueba que el producto cumple ciertas especificaciones, y cuando esto ocurre, es enviado al cliente. El cliente por su parte acepta que el producto pueda fallar con el tiempo, y en algunos casos el período de garantía es una forma de prever esta posibilidad a corto plazo [10]. Todo esto conduce a la necesidad de considerar un control de calidad basado en el tiempo. La fiabilidad es por tanto un aspecto de la incertidumbre en ingeniería, ya que el hecho de que un sistema funcione durante un cierto período de tiempo, sólo puede ser estudiado en términos de probabilidad. De hecho la palabra fiabilidad tiene una definición técnica precisa:

Fiabilidad es la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo, cuando opera en el entorno para el que ha sido diseñado.

Resumiendo, podemos definir que el problema fundamental en fiabilidad es estimar la vida de un producto o sistema y la probabilidad de que se produzca un fallo en cada momento.

2.2. Nuevas funciones para los ingenieros industriales en la era del pensamiento estadístico

Una inadecuada educación estadística en los planes de estudio de escuelas de negocios e ingeniería en las instituciones de educación superior ha hecho que muchos ingenieros y economistas hayan terminado sus estudios sin entender el valor de la Estadística y sus aplicaciones [1].

Los directivos deben entender que el pensamiento estadístico no es sólo un conjunto de herramientas estadísticas, deben de empezar a considerar el pensamiento estadístico desde una perspectiva de "sistema", eso es, desarrollando específicamente sistemas que reúnan herramientas estadísticas y otras metodologías para realizar alguna actividad [9]. Ingenieros y gerentes deberían desarrollar una nueva forma de pensar [3].

2.3. Análisis de Fiabilidad de un Sistema según su Estructura

Cualquier sistema (mecánico, eléctrico, etc.) está constituido por una serie de bloques funcionales o dispositivos interconectados de forma tal que sean capaces de realizar unas funciones concretas. Estos bloques funcionales pueden estar constituidos por una única componente o por complejos subsistemas, dependiendo del tipo de sistema y de las interconexiones en el mismo. El estado de las componentes (funcionamiento, fallo, funcionamiento deficiente, etc.) y la estructura del sistema determinan si un sistema está funcionando o no. La estructura del sistema se describe por un diagrama lógico ilustrando la relación entre componentes y funcionamiento satisfactorio del sistema.

En definitiva, el cuantificar la fiabilidad de un sistema o mejorar la fiabilidad de un sistema requiere, generalmente, considerar la estructura del sistema y la fiabilidad de sus componentes. Por tanto, en el estudio de la fiabilidad de un sistema el primer paso consiste en realizar un análisis de los modos de fallo de todos los componentes del sistema y sus efectos en el mismo. Este análisis se conoce como FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) o AMFE (Análisis de los Modos de Fallo y Efectos). Se desarrolló a mediados del siglo XX por ingenieros en armamento. El FMEA requiere un análisis cualitativo del sistema y sus componentes, y por ello debe ser conducido por los ingenieros durante la etapa de diseño del sistema.

Hay que tener especial cuidado a la hora de definir los fallos para que no sean ambiguos. éstos fallos deben estar relacionados siempre a un parámetro que se pueda medir o ligado a una clara indicación libre de interpretaciones subjetivas. A todo esto, no es inevitable que aparezcan variaciones subjetivas al validar los fallos (normalmente cuando la procedencia de los datos no está controlada).

Las especificaciones de entorno deben incluir las cargas, temperaturas, humedades, vibraciones y todos los parámetros necesarios que puedan condicionar la probabilidad de fallo del producto o sistema. éstos requisitos deben establecerse se manera que sean verificables y lógicos, y deben estar relacionados con las distribuciones correspondientes.

2.4. El Entorno en los Procesos de Fallos

Otro de los elementos importantes de la definición de fiabilidad es el entorno. La imposición de fuerzas (energía) sobre el sistema y sus componentes desde el entorno ocasionan en su mayoría los fallos del sistema debido al entorno. Estas fuerzas inducen y sostienen el progreso de varios tipos de procesos de deterioro, los cuales finalmente tienen como resultado el fallo de componentes. Existen dos tipos de modelos de procesos de degradación de componentes: los modelos de fallos mecánicos y los modelos de fallos electrónicos.

- **Modelos de Fallos Mecánicos.** En los mecánicos, se han desarrollado modelos de fallos desde una perspectiva mecánica o químico-eléctrica. A menudo se considera que la fiabilidad de los equipos mecánicos depende de la integridad estructural, la cual es influenciada por las cargas aplicadas y la fuerza inherente. En cuanto a la químico-eléctrica, se ha considerado usualmente como dependiente de la estabilidad material, a pesar de exposiciones a reacciones químicas hostiles como la oxidación.
- **Modelos de Fallos Electrónicos.** Los modelos de fiabilidad de dispositivos eléctricos y electrónicos se deben a observaciones empíricas y fueron desarrollados con posterioridad a los modelos de fiabilidad mecánicos. La mayoría de los modelos desarrollados se basan en la idea de que los procesos de degradación de los dispositivos electrónicos son esencialmente reacciones de conversión química, que tienen lugar en los materiales que integran los dispositivos.
- **Otros Aspectos de los Procesos de Fallos.** Aspectos como la aceleración de la edad (la manipulación del entorno de funcionamiento se puede utilizar para incrementar la tasa de envejecimiento de una muestra de dispositivos) o crecimiento de la fiabilidad (creencia de que el diseño y el desarrollo de un nuevo dispositivo, y la evolución de los métodos de fabricación del nuevo diseño, tienen como resultado una mejora en la fiabilidad de una muestra de dispositivos) son puntos a tener en cuenta a la hora de la aparición de posibles fallos en los sistemas.

3. El modelado de la duración de sistemas mediante distribuciones de probabilidad

En principio, se puede utilizar cualquier distribución de probabilidad para crear un modelo de duración de equipos o sistemas. En la práctica, las distribuciones con funciones de riesgo monótonas parecen más realistas y, dentro de esta clase, existen unas pocas que se considera que proporcionan los modelos más razonables de fiabilidad de dispositivos.

- **Ley Exponencial de Fallos: Tasa de Fallos Constante.** La distribución que se utiliza con más frecuencia para modelar la fiabilidad es la ley exponencial porque es sencilla de tratar algebraicamente y se considera adecuada para modelar el intervalo de vida funcional del ciclo de vida del dispositivo. De hecho, la distribución exponencial aparece cuando la tasa de fallos es constante, es decir, la probabilidad de que una unidad que está trabajando falle en el próximo instante es independiente de cuánto tiempo ha estado trabajando. Esto implica que la unidad no presenta síntomas de envejecimiento: es igualmente probable que falle en el instante siguiente cuando está nueva o cuando no lo está.
- **Ley Weibull: Tasas de Fallos Crecientes y Decrecientes.** Una gran mayoría de los equipos reales no tienen una tasa de fallos constante: es más probable que fallen a medida que envejecen. En este caso la tasa de fallos es creciente. Aunque también es posible encontrar

equipos con tasas de fallos decrecientes. Por ello la distribución Weibull se utiliza frecuentemente en el desarrollo de modelos de fiabilidad. Tiene la ventaja de la flexibilidad a la hora de crear modelos de varios tipos de comportamiento de riesgo, y también es manejable algebraicamente. Fue propuesta por el investigador sueco Waloddi Weibull, en 1939 para estudios de fatiga de los metales. Es una distribución que representa adecuadamente el comportamiento de los metales y los sistemas o componentes frente a problemas de fatiga. Posteriormente se ha ido aplicando como distribución de vida para distintos sistemas de ingeniería. Se trata de la distribución más importante para recoger el comportamiento frente al fallo en sistemas eléctricos, mecánicos, electromecánicos y electrónicos.

- **Ley Lognormal.** Su función de riesgo es creciente y suele utilizarse para modelar la fiabilidad de componentes estructurales y electrónicos. Su desventaja es que es bastante difícil tratarla algebraicamente, pero su ventaja es que surge naturalmente como la convolución de distribuciones exponenciales. Por tanto, tiene un interés práctico considerable con relación a los procesos de fallos físicos. Es un modelo adecuado para representar el tiempo empleado en una reparación, ya que una proporción no muy elevada de reparaciones, pero sí significativa, conllevan un tiempo alto de reparación, aunque la mayoría se realiza dentro de un intervalo de tiempo alrededor de la moda, siendo en este caso la función de riesgo una tasa de reparaciones. La propensión a finalizar una reparación en un instante t , sabiendo que antes no se ha terminado, crece con el tiempo hasta llegar a un instante donde dicha propensión a finalizar la reparación es máxima. Pasado ese instante dicha propensión disminuye con el tiempo, lo que significa que cuanto más tiempo lleve el equipo sin haberse reparado más difícil es que se acabe su reparación. Lo que vendría a justificar el hecho constatado de que hay reparaciones que después de llevar mucho tiempo en el taller, no llegan a finalizarse.

La fiabilidad tiene una gran importancia dentro de la evaluación del rendimiento ya que a la hora de configurar un sistema informático se quiere que sea lo más potente posible en términos de rendimiento, dentro de un presupuesto limitado, y que tenga una esperanza de vida alta ya que de nada sirve un componente con un gran rendimiento si va a fallar pronto y va a ser necesario sustituirlo. Cada componente tendrá asociado una distribución probabilística que permitirá calcular su fiabilidad, prestando especial interés a las distribuciones que acabamos de presentar y ya ampliamente probadas por estos modelos.

No obstante, sería conveniente analizar las distribuciones empíricas de los datos del tiempo hasta el fallo realizando los ajustes necesarios a un determinado modelo de probabilidad, independientemente de las especificaciones que nos pueda dar el proveedor correspondiente [2] y [4].

3.1. Ajuste de distribuciones con SPSS

El entorno de trabajo del paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) presenta un gran número de ventanas desde las que, por un lado, se gestiona la introducción de datos y se deciden los análisis a realizar y, por otro lado, se accede a distintos aspectos de la manipulación de los resultados generados. Todas ellas presentan sus propias barras de herramientas que pueden ser, como en casi todas las aplicaciones del entorno Windows, personalizadas a gusto del usuario.

Aunque el programa trae un gran sistema de ayuda se presuponen unos conocimientos básicos de las técnicas estadísticas empleadas que orienten en la elección de la técnica adecuada así como en la interpretación de los listados de resultados.

Una de las opciones del paquete estadístico es la posibilidad de hacer contrastes de bondad del ajuste de los datos a distribuciones de probabilidad. Es decir, contrastar si las frecuencias

observadas en cada una de las clases de una variable varían de forma significativa de las frecuencias que se esperaría encontrar si la muestra hubiese sido extraída de una población con una determinada distribución de frecuencias.

4. Gestión de la Fiabilidad como Estrategia Corporativa

Un programa realmente efectivo de fiabilidad sólo puede existir en una organización donde el cumplimiento de los objetivos de fiabilidad esté reconocido como parte integrante en la estrategia corporativa. En los casos contrarios, es de los primeros en ser recortados en cuanto existen presiones de costes o plazos.

Puesto que la calidad de la producción será el determinante final de la fiabilidad, el control de la calidad es una parte integral del programa de fiabilidad. El programa de control de calidad debe estar basado en los requisitos de fiabilidad y no ir dirigido únicamente a reducir costes de producción.

El programa de control de calidad contribuirá de forma efectiva al de fiabilidad solo si los procedimientos del primero están ligados a factores que puedan influir en el Segundo. Resulta costoso llegar a objetivos elevados de fiabilidad, y más cuando el producto o sistema es complejo. Pero a todo esto, la experiencia demuestra que todos los esfuerzos de un programa de fiabilidad bien gestionados son rentables, ya que resulta menos costos descubrir y corregir deficiencias durante el diseño y desarrollo que corregir el resultado de fallos producidos durante el funcionamiento del producto o sistema. Según la naturaleza del programa estaremos ante el caso de un tipo de coste u otro.

El coste de fiabilidad incluye todos los costes imputados durante el diseño, producción, garantía, etc. y está basado en el binomio cliente-usuario, mientras que el coste de ciclo de vida está integrado por todos los costes imputados por el sistema a lo largo de su vida: desde la concepción hasta su retirada al final de su vida útil, y éste tipo de coste está basado en perspectiva del fabricante con una responsabilidad limitada durante la vida del producto. Por tanto, hay una relación entre fiabilidad de un sistema y el coste de diseño-desarrollo.

Hay que resaltar que los programas de fiabilidad están normalmente limitados por los recursos que se les puedan destinar durante las fases de diseño y desarrollo. La asignación de recursos a las actividades de un programa de fiabilidad debe estar basada en una consideración de los riesgos asociados, siendo un valor subjetivo basado en la experiencia.

5. La Estadística en los estudios de Grado en Ingeniería

La asignatura Estadística es una asignatura con un carácter eminentemente aplicado y tiene como objetivo que los alumnos de la Titulación de Grado en Ingeniería adquieran los conocimientos necesarios para aplicar técnicas estadísticas que les permita comprender y estudiar fenómenos no deterministas.

La asignatura se estudia en segundo curso y se imparte en el primer o segundo cuatrimestre, de manera simultánea con la asignatura Matemáticas II. De esta manera, los alumnos cuando cursan la asignatura Estadística ya han adquirido los conocimientos previos del cálculo en una y varias variables (contenidos de la asignatura Matemáticas I que se imparte en primer curso).

La asignatura Estadística está diseñada teniendo en cuenta el perfil profesional del Ingeniero Industrial. Como consecuencia, el objetivo de la misma es formar a los alumnos en la aplicación de técnicas estadísticas en el entorno industrial y productivo, que les ayuden en la toma de decisiones y en el control de los procesos industriales y organizacionales.

Al tratarse de una asignatura básica que utiliza bastantes conceptos matemáticos, será de gran utilidad el dominio de los contenidos de la asignatura Matemáticas I cursada en el primer curso. Así, los alumnos deben haber adquirido previamente los siguientes conocimientos mínimos para un correcto seguimiento de la asignatura: Matrices, determinantes, resolución de sistemas de ecuaciones lineales, espacios vectoriales, funciones de variable real, cálculo diferencial e integral en una variable, funciones de varias variables, cálculo integral en varias variables, convergencia de series y series de potencias.

A través de esta asignatura se adquieren los conocimientos básicos para afrontar con garantías otras asignaturas.

6. Conclusiones

Los equipos y sistemas que diseñamos y adquirimos para satisfacer nuestras necesidades deben dar las prestaciones que de ellos esperamos con un elevado nivel de seguridad y confianza en su correcto funcionamiento. Esto dependerá siempre tanto de la importancia que para nosotros tenga la función desempeñada por ese equipo o sistema, como de las consecuencias de los fallos que puedan presentarse. Por ello, es necesario considerar la fiabilidad como una disciplina más en el diseño de cualquier sistema, desde el análisis de la necesidad identificada hasta la retirada de servicio del sistema diseñado, y de forma integrada con el resto de disciplinas de apoyo logístico.

Así, dado que la evaluación de la fiabilidad es un tema muy relevante en las organizaciones, los estudios de grado de Ingeniería Industrial suelen ofrecer asignaturas tales como Estadística, Estadística Industrial, control y gestión de la Calidad o similares, donde se estudia la importancia de la fiabilidad y la calidad de los sistemas.

Referencias

- [1] ANTONY, J., CAPON. *Teaching experimental design techniques to industrial engineers*, International Journal of Engineering Education, Vol. 14, N° 5, pp. 335-43, 1999.
- [2] CARO, R., LÓPEZ, V. y MIÑANA, G. *Análisis de Fiabilidad de dispositivos según su estructura para la herramienta software EMSI*. Actas del XXXIII Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa SEIO, Madrid, Abril 2012.
- [3] HARE, L.B. et al. *The role of statistical thinking in management*, IEEE Engineering Management Review, Fall, pp. 69-77, 1998.
- [4] <http://www.ucm.es/info/tecnomovil/>
- [5] <http://informatica.uv.es/rmtnez/ftf/teo/Tema01>
- [6] LÓPEZ, V. *Evaluación y Rendimiento de los Sistemas Informáticos*, EME-Editorial, Madrid, 2007.
- [7] GUNTHER, N. J. *Analyzing Computer System Performance with Perl: PDQ*, Ed. Springer, 2005.
- [8] MOLERO, X., JUIZ, C., RODEÑO, M. J. *Evaluación y modelado del Rendimiento de los Sistemas Informáticos*. Pearson Prentice-Hall, 2004.
- [9] PFEIFER, C.G. et al. *Statistics – a road to the future: a time for change*, Chance, Vol. 1, pp. 39-42, 1998.

- [10] PUIGJANER, R., SERRANO, J., RUBIO, A. *Evaluación y Explotación de Sistemas Informáticos*. Ed. Síntesis, 1995.

Sobre los autores:

Nombre: Raquel Caro Carretero

Correo electrónico: rcaro@upcomillas.es

Institución: ETS de Ingenieros del ICAI. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.

Nombre: Fernando García Jiménez

Correo electrónico: ferni.garcia@gmail.com

Institución: EIES Antonio de Nebrija. Madrid, España.

