

# La ingeniería de fiabilidad de sistemas informáticos a través de EMSI

Raquel Caro<sup>1\*</sup>, Victoria López<sup>2\*\*</sup>, Guadalupe Miñana<sup>2\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Pontificia Comillas, ETS-ICAI, Alberto Aguilera 25, 28015  
Madrid, España

<sup>2</sup> Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Informática, 28040  
Madrid, España

FECHA DE ENTREGA: 21 DE JULIO DE 2012

FECHA DE APROBACIÓN: 20 DE FEBRERO DE 2013

**Resumen** 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 un único componente o por complejos subsistemas, dependiendo del tipo de sistema y de las interconexiones en el mismo. El estado de los 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. La herramienta *software* EMSI (Evaluación y Modelado de Sistemas Informáticos) está diseñada para realizar evaluación de la fiabilidad y el rendimiento de configuraciones en Sistemas Informáticos (SSII).

**Abstract** All systems are comprised by a series of interconnected devices in such way that they are capable of performing particular functions. These functional blocks may be constituted by a single component or complex subsystems, depending on the type of system and its interconnections. The state of the components and the structure of the system determine if a system is working or not. Ultimately, to quantify the reliability a system requires, generally involves considering the structure of the system and the reliability of its components. EMSI software tool (Evaluation and Modeling of Computer Systems) is designed for evaluating the reliability and performance of configurations in Computing Systems (SSII).

**Palabras Clave:** sistema informático, fiabilidad, rendimiento, monitorización, garantías.

**Keywords:** system, reliability, performance, monitoring, guarantees.

---

\* rcaro@upcomillas.es

\*\* vlopez@fdi.ucm.es

\*\*\* guamiro@fdi.ucm.es

## 1. Introducción

En la actualidad, la mayor parte de los bienes y servicios se obtienen y se entregan a sus destinatarios mediante unos “sistemas productivos”, 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. A lo largo de su ciclo de vida cada sistema 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. Con el mantenimiento se pretende reducir la incidencia negativa de dichos fallos, ya sea disminuyendo su número o atenuando sus consecuencias.

Se dice que un sistema o dispositivo falla cuando deja de brindar 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 esté 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 operarlos 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. 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.

Simplemente el paso del tiempo provoca en algunos bienes disminuciones evidentes de sus características, cualidades o prestaciones. 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. Para lograr un rendimiento funcional adecuado, limitación de los costes del ciclo de vida y seguridad, la fase del diseño es el momento en que puede lograrse una influencia importante sobre los mismos. Por consiguiente la mayoría de los estudios de fiabilidad y de los métodos desarrollados se centran en el diseño de productos.

La ingeniería de fiabilidad es el estudio de la longevidad y el fallo de los equipos y sistemas. Para investigar las causas por las cuales 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 y así aumentar su vida o por lo menos limitar las consecuencias adversas de los fallos.

### 1.1. ¿Por qué la herramienta EMSI?

Dado que la evaluación de la fiabilidad y el rendimiento de los sistemas es un tema muy relevante en las organizaciones, los estudios de grado de Ingeniería Informática suelen ofrecer asignaturas tales como Evaluación del Rendimiento de las Configuraciones (en adelante, ERC) o similares, donde se estudia el

rendimiento, la fiabilidad, calidad y garantías de los Sistemas Informáticos (en adelante, SSII). La herramienta “Evaluación y Modelado de Sistemas Informáticos” (en adelante, EMSI) evalúa el rendimiento y la fiabilidad de sistemas informáticos [1]. Se trata de una herramienta intuitiva y fácil de manejar pero no por ello poco potente.

En la actualidad, en todas las universidades de España donde se imparte Ingeniería Informática, existen asignaturas donde se estudia la importancia del rendimiento en los sistemas informáticos. Disponer de una herramienta capaz de, analizar estos sistemas, detectar posibles cuellos de botella y que sirva como soporte a la hora de decidir cuál sería la mejor manera de ampliar o sustituir un sistema informático, es de gran ayuda. La aplicación EMSI encuentra su motivación en la necesidad de la existencia de herramientas adaptadas a nivel académico de este tipo. EMSI ha sido utilizado en la Facultad de Informática de la UCM para la realización de prácticas en la asignatura Evaluación de Configuraciones de la titulación Ingeniería Informática. Entre las diferentes opciones que ofrece el programa se encuentran: crear y modelar un sistema informático, estudiar su rendimiento mediante la Ley de Amdahl, evaluar la fiabilidad de los componentes por separado o del sistema completo, análisis descriptivo de los resultados mostrados por el monitor SAR, comparar el rendimiento de varios SSII, indicar el componente a sustituir, estudiar el sistema como una red cuyos componentes están conectados entre sí y analizar las garantías de componentes. El lenguaje que se utiliza en EMSI es Java, lenguaje de programación potente de propósito general y con muchas cualidades, como la portabilidad, que ofrece una gran independencia del *hardware* a la hora de ejecutar la aplicación en los diferentes entornos y equipos.

## 1.2. Herramientas en el mercado

EMSI es una herramienta de evaluación y medición del rendimiento como muchas otras, caracterizadas en proporcionar la medida del rendimiento que permite comparar la capacidad de los equipos para realizar distintas tareas. EMSI también reconoce la influencia, en el rendimiento del equipo, del cambio de un componente por otro de mejores prestaciones.

Las aplicaciones de medición del rendimiento se pueden dividir en test sintéticos y no sintéticos. Los sintéticos implementan una serie de algoritmos que proporcionan un indicador reproducible de la velocidad del computador, por ejemplo: SiSoft Sandra [2], Aida32, Everest [3], Weibull++7 [4], HWiNFO o Belarc Advisor. Estas aplicaciones proporcionan un conjunto de test de evaluación del rendimiento bastante completo. Por otra parte, las aplicaciones tipo Winbench99, Bapco [5], SPEC [6] o LINPACK están especializadas en la realización de test no sintéticos, que simulan la ejecución de aplicaciones así como su uso habitual en el entorno ofimático.

La herramienta EMSI refleja mayor similitud con las herramientas SiSoft Sandra, Weibull++7, AIDA32 o Everest; ya que proporcionan descripción del sistema que recoge todos los datos del *software* y del *hardware*, y por otro lado realiza un estudio del rendimiento y fiabilidad con base en estos datos.

Adicionalmente, EMSI contiene un módulo de comparación de sistemas, que recogiendo los tiempos que tardan varias máquinas en ejecutar distintos programas y evalúa cuál de las máquinas proporciona un mejor rendimiento. Esta utilidad es comparable a la que proporciona programas como BAPCo (orientada a programas ofimáticos), SPEC o LINPACK.

No obstante, la mayoría de estas herramientas son aplicaciones poco intuitivas para un usuario inexperto; ya que están orientadas a profesionales, pues su manejo es complicado y los manuales y ayudas son muy técnicos. Por otro lado, el tiempo de evaluación es en general bastante lento, por lo que la espera para obtener los informes se hace larga y los datos obtenidos son poco claros y excesivos. Los informes contienen multitud de detalles que son innecesarios para la comprensión de los conceptos que se persiguen sobre fiabilidad y rendimiento. Se debe tener en cuenta también que la mayor parte de estas herramientas no son *software* libre, sus licencias suelen ser bastante caras y las versiones gratuitas tienen restringidas muchas de sus utilidades y además suelen ser dependientes de un periodo de prueba.

La aplicación EMSI proporciona una evaluación del rendimiento y la fiabilidad de sistemas de una forma simple, ligera, concisa y sobre todo fácil de utilizar para usuarios inexpertos [7].

## 2. Sistemas informáticos y EMSI

Un sistema informático está compuesto por equipos y personal que realiza funciones de entrada, proceso, almacenamiento, salida y control de la información; con el objetivo de realizar una tarea al procesar los datos necesarios [8,9].

Existen tres partes muy importantes que influyen en la creación de un sistema informático: *hardware*, *software* y recursos humanos. Un sistema informático puede estar formado por un solo ordenador compuesto y a su vez por varios dispositivos, o puede ser el resultado de la conexión de varios sistemas más sencillos con el objetivo de formar uno más grande y complejo. Los sistemas informáticos se pueden clasificar con base en el uso y funcionamiento para el que han sido concebidos: 1. *De uso general*. Se utilizan para ejecutar todo tipo de aplicaciones sin dedicarse a ninguna en particular, en este apartado estarían los ordenadores personales; 2. *De uso específico*. Ejecutan un conjunto reducido de aplicaciones. Los componentes que forman estos sistemas están configurados para optimizar los resultados de la ejecución de dichas aplicaciones.

Los componentes encargados de formar un sistema informático se pueden dividir en las siguientes categorías: 1. *Los componentes físicos*. Constituyen el *hardware* del sistema informático y proporcionan la capacidad y la potencia de cálculo del sistema global; 2. *Los componentes lógicos*. Constituyen el *software* del sistema informático y están formados por las aplicaciones, las estructuras de datos y la documentación asociada. El *software* se encuentra distribuido en el *hardware* y lleva a cabo el proceso lógico que requiere la información; 3. *Los componentes humanos*. Este grupo está formado por todas las personas que participan en el diseño, desarrollo, mantenimiento y utilización de un sistema

informático. Es importante destacar la gran importancia de este grupo, ya que es el usuario final del sistema, así como también se convierte en el encargado de mantener su buen funcionamiento y una correcta explotación del mismo.

Cada componente que forma parte de un sistema informático realiza una función concreta dentro del mismo, y tiene unas características asociadas que lo distinguen de otros componentes del mismo tipo existentes en el mercado. Los componentes, con sus respectivas características, que sirven para modelar el sistema informático y que son añadidos a la aplicación EMSI, son los siguientes:

1. Procesador; 2. Disco duro interno; 3. Memoria RAM; 4. Placa base; 5. Tarjeta gráfica; 6. Tarjeta de sonido; 7. Tarjeta de video; 8. Tarjeta de red; 9. Tarjeta USB; 10. Tarjeta SCSI; 11. Módem; 12. Dispositivos de interconexión de red; 13. Monitor; 14. Escáner; 15. Tableta gráfica; 16. Impresora; 17. Grabadora de CD; 18. Grabadora de DVD; 19. Teclado; 20. Ratón; 21. Disco duro externo; 22. Fuente de alimentación; 23. Ventilador.

### 2.1. Diseño de SSII con EMSI

EMSI dispone de un módulo dedicado al modelado de sistemas informáticos y componentes (“Computer System”). Este módulo ofrece las siguientes posibilidades: configurar los dispositivos que forman el sistema, añadiendo nuevos elementos, editando algún parámetro de los ya existentes o eliminando los que se consideren innecesarios en el sistema; especificar un nombre para el sistema informático en uso para diferenciarlo de otros creados anteriormente y guardar la información del sistema informático actual en un fichero con formato XML que se podrá cargar cuando se considere necesario, sin tener que crearlo de nuevo en las siguientes ocasiones en que se ejecute el programa. Mediante este módulo, se puede diseñar un sistema informático sobre el que posteriormente se puede realizar cualquier tipo de estudio relacionado con el rendimiento y fiabilidad, gracias a los demás módulos que forman la aplicación. La figura 1 muestra un ejemplo de sistema informático con siete componentes.

## 3. Naturaleza del problema de la fiabilidad

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



Figura 1. Sistema informático.

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 [8]. 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. 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.

### 3.1. 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 un único componente o por complejos subsistemas, dependiendo del tipo de sistema y de las interconexiones en el mismo. El estado de los 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 que ilustra 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 con un parámetro que se pueda medir, o estar ligados 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 del 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 de manera que sean verificables y lógicos, y deben estar relacionados con las distribuciones correspondientes.

### 3.2. Modelos matemáticos de distribución de probabilidad de fallos

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 (ver figura 2).

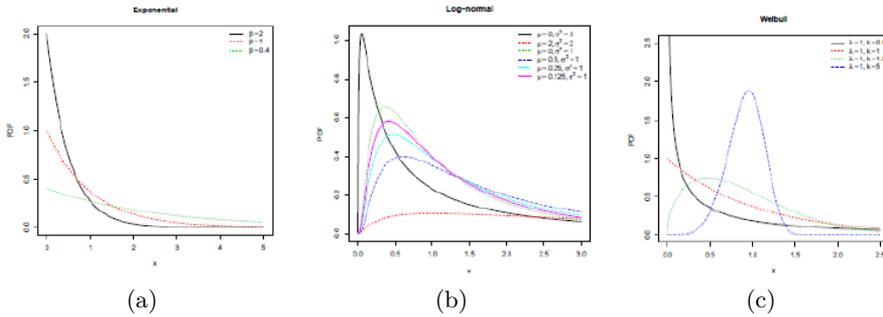
- *Ley exponencial de fallos: Tasa de fallos constante.* La distribución que se utiliza con más frecuencia para modelar la fiabilidad es la Ley exponencial porque es sencilla de tratar algebraicamente y se considera adecuada para modelar el intervalo de vida funcional del ciclo de vida del dispositivo. 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 porque 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 refiere a que es bastante difícil tratarla algebraicamente, pero su ventaja 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.

### 3.3. 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.



**Figura 2.** Distribuciones de probabilidad utilizadas en análisis de fiabilidad.

- *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. Consecuentemente, muchos modelos están basados en la ecuación de tasa de reacción de Arrhenius, que tomó su nombre del químico del siglo XIX quien desarrolló la ecuación durante el estudio de reacciones irreversibles como la oxidación.
- *Otros aspectos de los procesos de fallos.* Aspectos como aceleración de la edad (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 para evaluar a la hora de la aparición de posibles fallos en los sistemas.

### 3.4. 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 control de fiabilidad, pues los procedimientos del primero están ligados a factores que puedan influir en el segundo, y no sólo a formas o funciones, sino a los datos de pruebas de control de calidad que están integrados con el resto de datos de fiabilidad, con el fin de observar si el personal de control de calidad está formado para reconocer la relevancia de su trabajo a la fiabilidad, así como motivado para contribuir a su cumplimiento. 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. Si se trata del diseño de un producto y colocarlo en el mercado se tratará de coste de fiabilidad, y si, de forma contraria, se trata del diseño de un sistema por encargo específico de un cliente se hablará de coste de ciclo de vida.

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 este 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 deben estar basadas en una consideración de los riesgos asociados, siendo un valor subjetivo basado en la experiencia.

#### **4. Fiabilidad de componentes en EMSI**

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.

EMSI dispone de un módulo donde se realizan automáticamente los cálculos en relación a la fiabilidad de los componentes que forman el sistema informático arrojando gráficas e informes descriptivos indicando la probabilidad de fallo del componente en cuestión en un tiempo concreto así como su esperanza de vida. Dicho módulo permite modelar la función de fiabilidad asociada a cada componente, y los datos que definen a cada una, existiendo la opción de guardarlos para no tener que volver a introducirlos en posteriores ejecuciones en las que se quiera analizar el mismo sistema. Así mismo, EMSI permite obtener gráficas e informes sobre los resultados de realizar un análisis de fiabilidad con los datos introducidos previamente. Los resultados mostrados son relativos a un rango de tiempo predefinido por la aplicación pudiendo cambiarse manualmente para observar un tiempo concreto. En la aplicación se ha incluido la opción de personalizar el tiempo de uso de cada componente. Lo más normal es que un componente no esté activo el 100 % del tiempo en el que el sistema completo se encuentra en marcha, por lo que es imprescindible adaptar estas variables en cada sistema informático para optimizar los resultados.

La Figura 3 muestra un ejemplo de la ejecución, donde se estudia la fiabilidad del procesador del sistema. Para ello se selecciona el procesador en la tabla superior izquierda y se le proporciona una distribución y unos parámetros. En este caso se ha elegido una distribución exponencial.

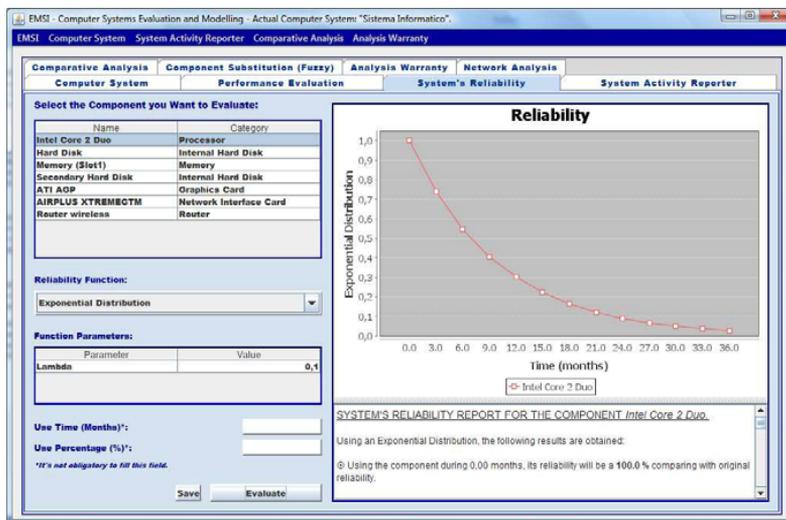


Figura 3. Fiabilidad del sistema.

Se puede observar en la gráfica de la Figura 3 que la fiabilidad del procesador (en un tiempo de uso del 100 %) va bajando progresivamente. Este comportamiento del procesador cambiaría si el tiempo de uso fuera menor al 100 %, cosa que parece bastante razonable. De hecho si el tiempo de uso fuera de un 50 % la fiabilidad del componente decrece mucho más lentamente que antes, y por lo que muestra el informe en el mes 90 tendría un 1,11 % de fiabilidad y el 0,1 % no se esperaría hasta pasados 180 meses.

## 5. Monitorización de sistemas

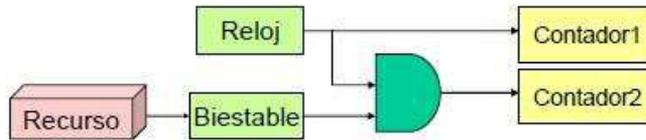
Un monitor es una herramienta diseñada para observar la actividad de un sistema informático mientras es utilizado por los usuarios. Las funciones principales de los monitores incluyen observar el comportamiento del sistema, recoger datos estadísticos sobre él, analizar los datos previamente recogidos y mostrar resultados del análisis. La monitorización de un sistema informático permite recopilar y analizar información sobre el estado del sistema pudiendo ayudar a la detección de cuellos de botella que limiten el rendimiento del sistema o lo sobrecarguen [9]. Antes de analizar un informe de monitorización conviene haber recogido previamente la mayor cantidad de información posible para tener unos datos realmente fiables que no den lugar a engaño. A la hora de recoger información sobre el sistema, esta se puede obtener de dos maneras: 1. Medida por muestreo, cada período fijo de tiempo y 2. Medida por detección de eventos, cada vez que ocurre un evento en el sistema. En este caso la cantidad de información recogida depende directamente de la frecuencia de eventos mientras que en la medida por muestreo solo depende del tiempo en el que se tenga el monitor recogiendo información. Los monitores se pueden clasificar en tres tipos diferentes:

Los Monitores *software*, son programas instalados en el sistema, y son los más usados. Activarlos implica ejecutar instrucciones del monitor en el procesador del sistema monitorizado, pero eso produce una sobrecarga en el sistema que habrá que controlar para que sea lo menor posible. Si no se pudiera controlar el factor de la sobrecarga, los resultados arrojados por el monitor no serían fiables a la hora de analizar el rendimiento del sistema.

Los Monitores *hardware*, son dispositivos externos al sistema, se utilizan sólo en entornos muy específicos. Se conectan al sistema a monitorizar mediante sondas electromagnéticas. Tienen la ventaja respecto a los monitores *software* ya que no usan recursos del sistema monitorizado por esto no producen sobrecarga y son muy rápidos al tratarse de circuitos electrónicos. Sin embargo, hace falta personal especializado para su utilización, la instalación de sondas no es sencilla y no todas las magnitudes son medibles por *hardware*. La figura 4 muestra un ejemplo de monitor *hardware*.

Los Monitores híbridos, formados por una parte de *hardware* y otra parte de *software*. La primera actúa como un dispositivo de entrada/salida que guarda, analiza y procesa la información enviada por la parte *software*; mientras que la parte *software* se trata de instrucciones especiales de entrada/salida añadidas

al código del sistema operativo y actúa como una sonda recogiendo información para enviarla a la parte *hardware* para su posterior procesamiento.



**Figura 4.** Monitor *hardware*.

### 5.1. El monitor SAR

El monitor SAR (*System Activity Reporter*) es una de las herramientas *software* más potentes disponibles actualmente para monitorizar sistemas informáticos. Es un monitor muy utilizado por los administradores de sistemas Unix para la detección de cuellos de botella. Al ser un monitor de tipo *software* el sistema tendrá una pequeña sobrecarga debido a su ejecución [10]. Este monitor se puede ejecutar en dos modos distintos: 1. *Modo interactivo*. El monitor recoge información actual sobre qué está pasando en el día de hoy o en ese mismo instante en el sistema. 2. *Modo histórico*. Para obtener información sobre monitorizaciones realizadas en días pasados y que se encuentran guardadas en ficheros históricos. La Figura 5 muestra un ejemplo de salida del monitor SAR.

```

$ sar
00:00:00      CPU      %user      %nice    %system    %idle
00:05:00      all       0.09       0.00     0.08     99.83
00:10:00      all       0.01       0.00     0.01     99.98
...
11:15:00      all       0.02       0.00     0.02     99.96
11:20:00      all       0.44       0.00     0.20     99.36
11:25:00      all       0.05       0.00     0.02     99.92
    
```

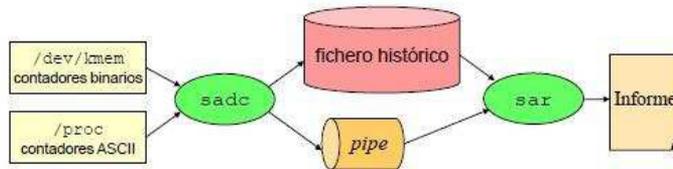
**Figura 5.** Ejemplo de salida del monitor SAR.

El funcionamiento del monitor (ver Figura 6) se basa en dos órdenes complementarias entre sí:

1. SADC (System Activity Data Collector) es el encargado de recolectar los datos que el sistema operativo guarda automáticamente en diversos contadores y

que provienen de la actividad de cada componente. Como resultado de la recolección, la instrucción SADC generará un registro binario con toda la información obtenida.

2. SAR (System Activity Reporter) es el encargado de transformar el registro binario a un fichero de texto legible con los datos solicitados por el usuario, ya sean de una ejecución en tiempo real o de ejecuciones anteriores.



**Figura 6.** Funcionamiento monitor SAR.

El monitor SAR tiene una gran cantidad de parámetros según lo que interese medir cada vez que se ejecuta.

## 5.2. Monitorización de sistemas informáticos en EMSI

EMSI dispone de un módulo que permite obtener gráficas descriptivas —de las métricas que se necesiten— para poder evaluarlas y compararlas fácilmente a partir de los datos de monitorización obtenidos en un sistema tras ejecutar convenientemente el monitor SAR. Con este módulo el usuario podrá: seleccionar la opción de monitorización que desea aplicar, así como el número de muestras y el intervalo temporal de separación que más le convenga según la monitorización previa realizada. Introducir los datos correspondientes a cada una de las métricas relacionadas con la opción de monitorización escogida (ver Figura 7). Y generar gráficas como las de la Figura 8, a partir de la información obtenida que permita comparar fácilmente la evolución temporal de cada métrica. Así pues, se evaluará de forma visual, cuál de ellas tiene un comportamiento inapropiado para actuar sobre el sistema monitorizado de la manera más adecuada.

## 6. Análisis Comparativo de Sistemas

La comparación de sistemas para saber cuál de ellos se comporta mejor ante una carga determinada es un aspecto muy importante si el computador se va a dedicar a unas aplicaciones específicas, en cambio de un uso general. Para ello se usa la referenciación, una técnica usada para la comparación de rendimientos de sistemas ante una misma carga.

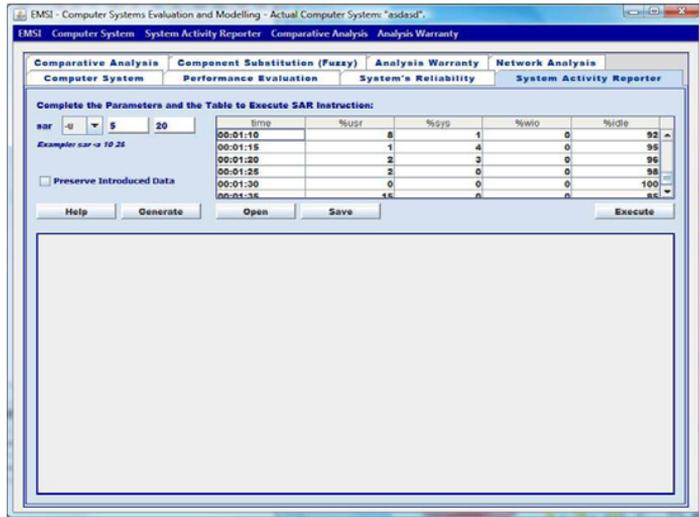


Figura 7. Informe de la actividad del sistema (SAR).

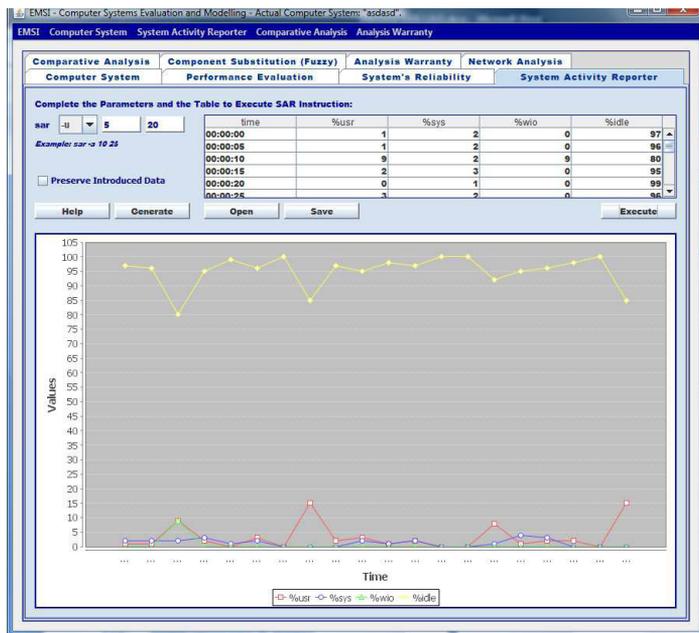


Figura 8. Gráfica de actividad del sistema.

Existen varios índices para medir el rendimiento, las más utilizadas han sido los MIPS (*Million Instructions Per Second*) y MFLOPS (*Million Floating*

*point Operations Per Second*). Sin embargo, ninguna de estas dos medidas es realmente fiable. Los MIPS no tienen en cuenta el repertorio de instrucciones y un sistema que utilice más instrucciones que otro, no tiene por qué ser más lento. El repertorio de instrucciones en coma flotante varía de una arquitectura a otra y, dentro de una misma arquitectura, cada instrucción tiene un tiempo distinto que puede variar según los operandos. No es lo mismo una suma que una multiplicación por ejemplo, por ello, los MFLOPS tampoco son adecuados. Para intentar solucionar este problema, se utilizan los MFLOPS normalizados que consideran la complejidad de las operaciones en coma flotante. Sin embargo siguen teniendo las mismas desventajas que los MIPS.

La medida más fiable es el tiempo de ejecución. Al ejecutar un determinado programa, un dato completamente objetivo se refiere a que un sistema rendirá mejor que otro si es capaz de ejecutarlo en menos tiempo. Esta medida depende exclusivamente del número de instrucciones que se tienen que ejecutar (I), del promedio de ciclos que la máquina tarda en completar una instrucción (CPI) y del periodo de reloj del procesador. Para más detalle, ver [10].

### 6.1. Medidas del Rendimiento

Expresar el rendimiento no es sencillo, ya que es una variable multidimensional, y para ello habría que expresar muchos índices. Sin embargo, a la hora de comparar dos sistemas entre sí, resulta más sencillo si se utiliza un único índice de rendimiento. Como el objetivo es expresar todas las variables en una sola, suelen utilizarse medias: (aritmética, armónica y geométrica) y sus normalizaciones. Para normalizar rendimientos una vez obtenidos los resultados de las medias, el índice que se suele utilizar es el ratio: cociente entre los valores de la máquina de referencia y los valores de cada sistema para obtener las aceleraciones de cada uno respectivamente.

Cuando se obtienen resultados diferentes de rendimiento tras la ejecución de  $n$  programas en dos máquinas distintas es necesario saber si las diferencias son significativas o no. Para ello se utiliza la inferencia estadística: métodos de estimación y contrastes de hipótesis.

### 6.2. Análisis Comparativo de Sistemas en EMSI

EMSI ofrece la posibilidad de realizar todos los cálculos relativos a la comparación de sistemas para una carga determinada de forma automática y obtener gráficos e informes descriptivos. En ella, el usuario puede:

- Indicar el número de programas ejecutados y el número de máquinas que desea comparar con una máquina de referencia que aparece por defecto.
- Introducir los datos correspondientes a los tiempos de ejecución de cada programa, en cada una de las máquinas que intervienen en las operaciones posteriores como se puede ver en la figura 9 y salvarlos para no tener que volver a introducirlos en otras ocasiones.

- Generar gráficas de distinto tipo, por ejemplo: gráficas que permitan evaluar fácilmente las medias normalizadas de cada sistema con respecto a la máquina de referencia, o gráficas como las mostradas en la Figura 10 con los ratios resultantes al ejecutar cada programa en una máquina, comparándolos con los tiempos de la máquina de referencia.
- Generar informes que detallen cuánto más rápidos son los sistemas mostrados con respecto a los demás, incluido el sistema de referencia y los intervalos de confianza que indican si las diferencias entre ellos son significativas realmente. La Figura 11 muestra un ejemplo de informe.

EMSI - Computer Systems Evaluation and Modelling - Actual Computer System: "asdasd".

EMSI Computer System System Activity Reporter Comparative Analysis Analysis Warranty

Comparative Analysis Component Substitution (Fuzzy) Analysis Warranty Network Analysis

Computer System Performance Evaluation System's Reliability System Activity Reporter

Complete the Data and the Table to Compare Computers: E.T -> Execution Time (in seconds)

Number of Programs: 12  
Number of Systems: 2  
 Preserve Introduced Data

A	Program Weights	Reference System	System1 (E.T)	System2 (E.T)
Program 6	0,08	390	366	320
Program 7	0,08	786	642	642
Program 8	0,08	777	786	767
Program 9	0,08	780	675	675
Program 10	0,08	700	682	573
Program 11	0,08	720	710	687
Program 12	0,12	1.500	1.342	1.208

Generate Open Save Execute Optimistic degree Uncertainty

Figura 9. Análisis comparativo.

Mediante este módulo se puede aprender lo importante que es tener un sistema optimizado para el tipo de aplicaciones que se van a usar en él, observando la diferencia en los resultados según el tipo de media utilizada.

## 7. Análisis de garantías

El análisis de garantías estudia la fiabilidad de un sistema o sus componentes mediante técnicas de decisión bajo incertidumbre. Gracias al algoritmo de Hurwitz y conociendo los datos de puestas en marcha y elementos devueltos, se obtiene un análisis detallado, acompañado de gráficas, de la fiabilidad estimada de los componentes del sistema.

Hasta hace algunos años, la necesidad de tener un sistema fiable se limitaba a un reducido grupo de aplicaciones, aquellas cuyos fallos podían producir graves pérdidas económicas o humanas. En la actualidad se aplican a ordenadores de propósito general ya que, el coste de las reparaciones se ha incrementado, el sistema no debe tolerar un mal uso del mismo, o son sistemas más complejos, entre otras cosas.

La garantía de funcionamiento (*dependability*) de un sistema es la propiedad que permite a sus usuarios depositar una confianza justificada en el servicio que les proporciona. Un sistema informático está constantemente cambiando entre dos estados: funcionamiento correcto o sistema averiado. Se producen cambios

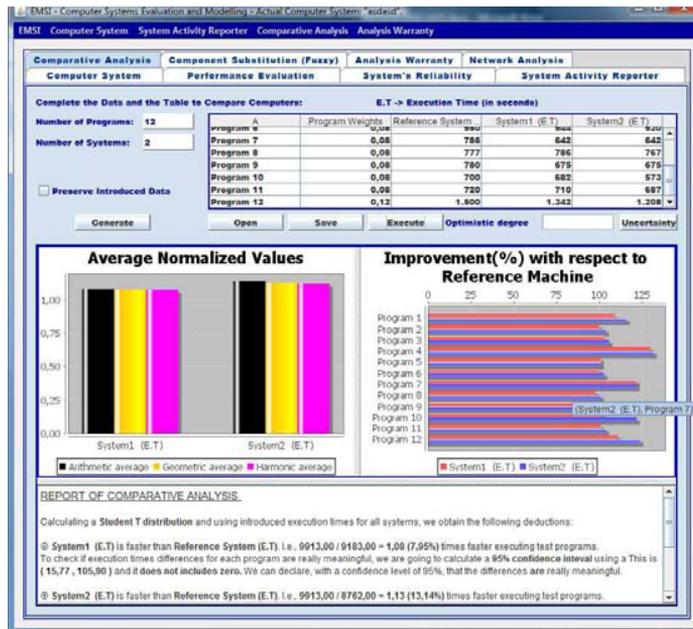


Figura 10. Gráfica comparación máquinas.

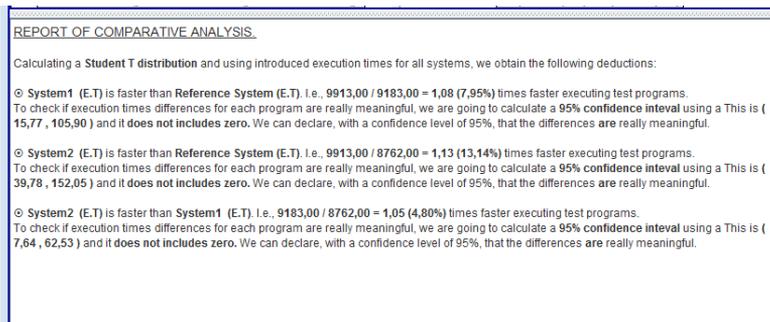


Figura 11. Informe comparación máquinas.

entre estos dos estados y disminuye la garantía del sistema debido a la existencia de fallos, errores y averías.

Hay dos formas principales de aumentar la fiabilidad y, en consecuencia, la garantía de un sistema informático. Prevención de fallos, intentando reducir la posibilidad de fallo eligiendo mejores componentes o mediante controles de calidad; y tolerancia a fallos, que lo que pretende es conseguir que el sistema siga funcionando a pesar de los diferentes fallos que puedan surgir. Los métodos

para obtener una confianza justificada en el sistema son eliminación de fallos y prevención de los mismos. El primero trataría de reducir la presencia de fallos y el impacto que su aparición causaría. Y el segundo consiste en obtener la garantía de funcionamiento a priori. Para ello se necesitaría realizar una evaluación del sistema respecto a los fallos.

En este artículo se aborda este último caso, obteniendo el dispositivo menos fiable; por lo tanto, el primero a tener en cuenta a la hora de sustituir componentes.

### 7.1. Análisis de garantías en EMSI

La aplicación EMSI proporciona un módulo para el Análisis de Garantías. Esta funcionalidad permite analizar la fiabilidad como garantía de un sistema informático o de componentes aislados. El estudio se realiza con base en unos datos de componentes puestas en marcha y componentes devueltas en un determinado tiempo, introducidas por el usuario. Concretamente con este módulo el usuario puede: 1. Cargar (y guardar) un sistema informático y obtener unas gráficas e informes descriptivos del análisis de la garantía del sistema completo; 2. Introducir componentes manualmente con sus datos para proceder a su análisis y 3. Ampliar el sistema informático cargado con componentes sueltos para comparar la fiabilidad de lo que ya se tenía con nuevas incorporaciones.

Mediante este módulo el usuario puede aprender todos los posibles usos de las garantías y su importancia a la hora de elegir entre un componente u otro [12]. En el siguiente ejemplo se presenta un análisis de las garantías de los componentes de un sistema informático. Tras cargar un sistema informático, se necesita introducir los datos de garantías de cada componente como se puede ver en la Figura 12. Es necesario rellenar los datos para todos los componentes que se quieran estudiar del sistema. Los coeficientes de cada mes aparecerán en la tabla superior derecha, acompañando a su componente correspondiente (ver Figura 13). Tras elegir un coeficiente de optimismo, y pulsar el botón “Generate” se obtienen dos gráficas descriptivas y un informe detallado con los resultados del estudio. La aplicación muestra en el informe un *ranking* de cuál componente obtiene mejores resultados (ver en la figura 14)

En otro ejemplo se compara un componente del sistema con otros nuevos. Para esta ocasión se elige sólo el componente del sistema que se quiere sustituir, rellenando sus datos de garantía. Mediante el botón “Components” se pueden ir añadiendo los elementos con los que se quiere comparar (ver Figura 15).

Tras introducir todos los elementos que se van a comparar, se elige el nivel de optimismo y se ejecuta. Los resultados se obtendrán de acuerdo con el algoritmo de Hurwick (ver la Figura 16).

Se puede observar que para un coeficiente de optimismo moderado de 0.6, EMSI propone el Modelo E como el componente que proporciona mejores garantías, ya que presenta unos resultados muy constantes y con un porcentaje de devoluciones bajo. La Figura 17 muestra los resultados correspondientes tras aplicar un coeficiente 1, que sería el grado de optimismo máximo.

En este caso el mejor componente es el Modelo C ya que al ser el grado máximo de optimismo se fijará en el componente que proporcione el mejor resultado en

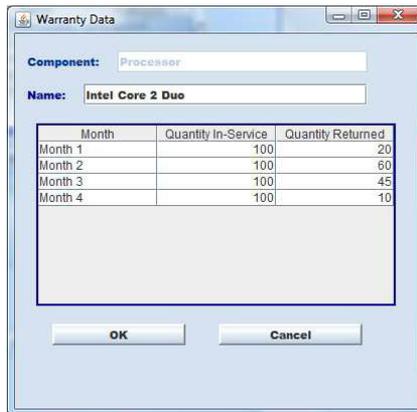


Figura 12. Datos de garantías de componentes.

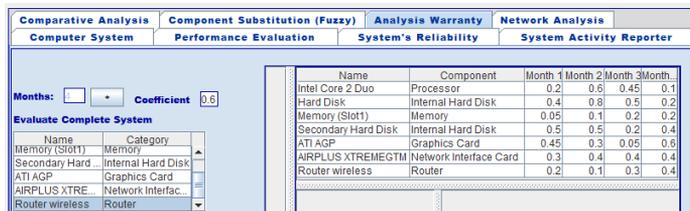


Figura 13. Análisis de garantía.

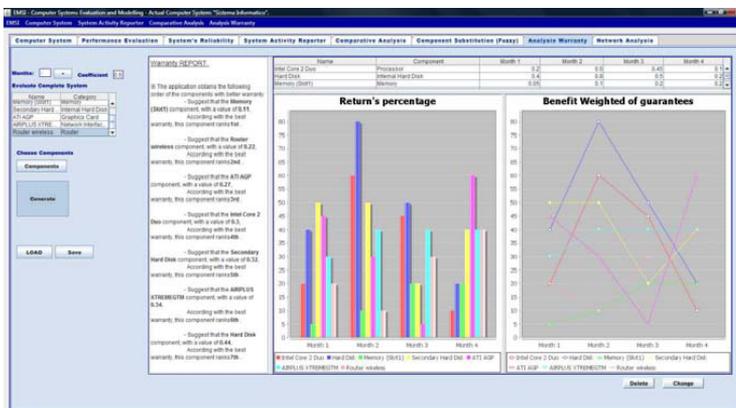


Figura 14. Resultados de análisis de garantías de componentes.

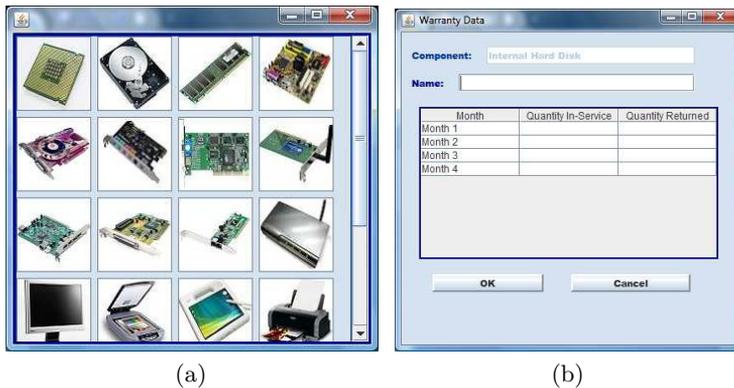


Figura 15. Ventanas diseñadas para añadir nuevos componentes a la comparación.

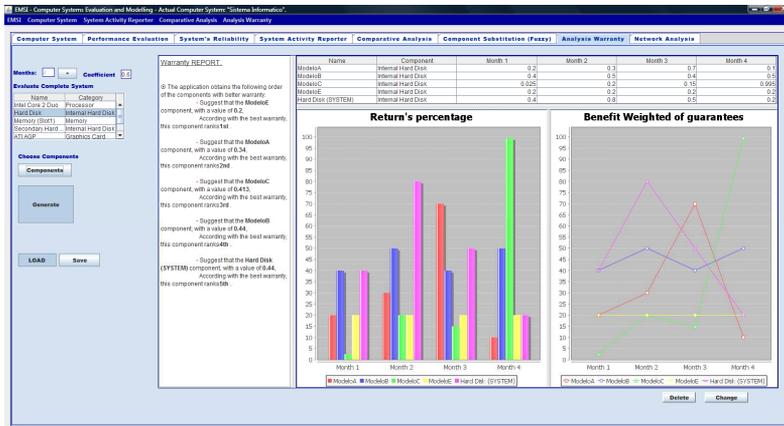


Figura 16. Resultados comparación nuevos componentes.

cualquiera de sus meses, obviando prácticamente que el resto de los resultados sean peores. Según vaya aproximándose a cero el coeficiente de optimismo, el *ranking* varía de acuerdo con los componentes que presenten mayor uniformidad en sus resultados.

## 8. 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

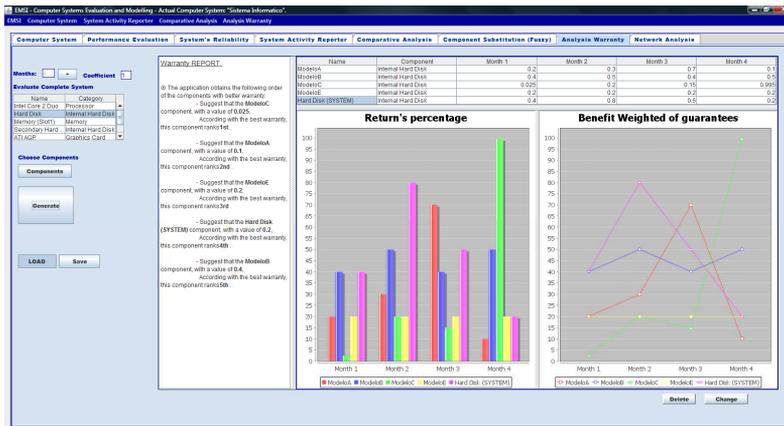


Figura 17. Resultados optimismo máximo.

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.

El objetivo de EMSI es crear una aplicación de evaluación de rendimiento y fiabilidad intuitiva y sencilla orientada al ámbito académico. El gran número de funcionalidades que ofrece la herramienta EMSI sirve al usuario para comprender la materia y ampliar los conocimientos sobre los que se basa la aplicación. Su diversidad, su facilidad de uso y sobre todo su gratuidad, hacen de EMSI una herramienta imprescindible para la realización de asignaturas enfocadas al estudio del rendimiento de sistemas.

Las posibles mejoras deberían ir encaminadas en la obtención de datos para hacer los diversos estudios que proporciona la aplicación.

## Referencias

1. [en línea] <http://www.ucm.es/info/tecnomovil/>
2. SiSoftware Sandra (the System ANalyser, Diagnostic and Reporting Assistant), [en línea] <http://www.sisoftware.net/>
3. EVEREST Ultimate Edition – PC Diagnostics, [en línea] <http://www.lavalys.com/products/everest-pc-diagnostics>
4. Weibull++: Life Data Analysis Software Tool, [en línea] <http://www.reliasoft.com/Weibull/index.htm>
5. SYSmark® 2004 SE. Premier performance metric that measures and compares PC performance based on real world applications.
6. [en línea] <http://www.bapco.com/products/sysmark2004se/>
7. Standard Performance Evaluation Corporation, [en línea] <http://www.spec.org/>
8. Lopez, V.: Evaluación y Rendimiento de los Sistemas Informáticos. EME Editorial (2007).

9. Neil J.G: Analyzing Computer System Performance with Perl, PDQ, Ed. Springer, (2005).
10. Molero, X., Juiz, C., Rodeño, M.: Evaluación y modelado del Rendimiento de los Sistemas Informáticos. Pearson Prentice-Hall (2004).
11. [en línea] <http://www.sarcheck.com/>
12. Puigjaner, R., Serrano, J., Rubio, A.: Evaluación y Explotación de Sistemas Informáticos. Síntesis (1995).
13. Garantías de sistemas, [en línea] <http://informatica.uv.es/~rmtnez/ftf/teo/Tema01.pdf>