

La calidad en el diseño de sistemas complejos

RODOLFO BRAVO MONROY

Profesor Titular de la Escuela Universitaria de Estudios Empresariales
Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN

Actualmente, el *enfoque sistémico* para el análisis de los problemas complejos está siendo profusamente utilizado. Existen metodologías específicas en cada campo de aplicación para el análisis y desarrollo de sistemas. Tanto las actividades conducentes al desarrollo del sistema, como en su posterior funcionamiento a lo largo del ciclo de vida para el que fue creado, dan lugar a la producción de errores.

Existen distintas metodologías y procedimientos para minimizar tales errores, cada una de las cuales se focaliza en medidas preventivas y correctivas concretas. Algunas metodologías de aseguramiento de la calidad se centran en la tipología de los datos y variables intervinientes en el sistema. El presente trabajo apunta algunos métodos concretos para que los elementos de información (variables, datos, informes, documentos, etc.), manejados en el desarrollo del sistema, así como de sus elementos (materiales y de información) constituyentes del mismo, se ajusten a una tipología que se considere como óptima. La tipología óptima en la utilización de los elementos de información, se obtiene por aplicación del *principio de analogía entre sistemas —con particular aplicación a los sistemas complejos—*, a partir de la experiencia obtenida en otros sistemas de naturaleza análoga que ya han sido suficientemente probados y contrastada su correcta funcionalidad en la práctica. Tales sistemas son tomados como modelo de referencia.

A partir del sistema tomado como modelo de referencia, y por un estudio detenido de los errores encontrados durante sus pruebas de validación, se proponen métodos de prevención y corrección de errores que puedan utilizarse en el análisis y desarrollo de nuevos sistemas complejos pertenecientes a otros campos de aplicación.

EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la calidad en productos y servicios ha tenido su mayor auge en estos últimos años. Ello no quiere decir que anteriormente no se persiguiese esta cualidad tanto por parte de los productores como de los consumidores, sino que es en estos tiempos más recientes, cuando el concepto *calidad* ha tomado un interés sistemático y generalizado produciendo los cambios que observamos en la sociedad actual. Estos cambios —apunta P. James¹— «no se atribuyen solamente a un grupo de personas, sino a la práctica de las estrategias tomadas por las empresas para satisfacer las necesidades y deseos de la sociedad, lo que nos ha traído a la actual era de la calidad». Se trata por tanto de una aspiración global de la sociedad y no solamente del deseo de unos pocos.

El objetivo de consecución de la calidad viene corroborado por la mayoría de los autores y analistas dedicados a estos temas, así Pérez-Fernández, J.A. señala²: «Como consecuencia natural de la globalización de los mercados en la mayor parte de los sectores de actividad, aumentan sensiblemente la competencia y oportunidades para el cliente. El cliente se convierte así en el gran protagonista de la vida de las empresas demandando cada vez con mayor intensidad productos y servicios de *calidad* en los términos que él la entiende y percibe»; y más adelante continúa: «la gran diferencia radica en que estamos pasando de una economía de *producción* propia de una época ya pasada en la que el principal objetivo era el crecimiento del mercado, a otra de *calidad* en la cual los clientes eligen los mejores productos».

Apoyando la necesidad que representa la calidad para las empresas productoras de bienes y servicios, Barba, E., señala³: «El éxito de una empresa en el mercado depende cada vez más, no sólo del precio de sus productos, sino de la calidad de los mismos», y continúa: «Las empresas que por su gestión son calificadas como *excelentes*, se caracterizan por su empeño en la búsqueda de la calidad y de la fiabilidad de sus productos. La calidad será en un futuro cercano, el campo donde se mida la competitividad de las empresas». Por tanto las empresas y organizaciones tanto públicas como privadas, dedicadas al suministro de bienes y servicios deben estar ampliamente concienciadas de la importancia de la calidad de sus productos.

¹ Ver JAMES, Paul: *Gestión de la calidad total*, Ed. Prentice Hall, Madrid, 1997, p. 28.

² Ver PÉREZ-FERNÁNDEZ DE VELASCO, J. A.: *Gestión de la calidad orientada a los procesos*, Ed. ESIC, Madrid, 1999, pp. 23 y ss.

³ Ver *La excelencia en el proceso de desarrollo de nuevos productos*, Ed. EADA Gestión, Barcelona, 1993, p. 119.

El aseguramiento de la calidad de los productos y servicios constituye por tanto hoy en día un objetivo primario para las empresas, administraciones y sociedad en general. Es por ello, por lo que muchos profesionales y expertos⁴ han dedicado sus esfuerzos a la mejora de la calidad de productos y servicios dentro y fuera de las organizaciones empresariales.

LOS ENFOQUES DE LA CALIDAD

A partir de las teorías e ideas expresadas por los autores dedicados al aseguramiento de la calidad, se pueden establecer lo que se conoce como los *fundamentos de la calidad*, que podrían resumirse en los siguientes enfoques:

Enfoque trascendente

Para Garvin⁵, «la calidad es una simple y no analizable propiedad que aprendemos a reconocer sólo a través de la experiencia», es algo que no es tangible pero que se reconoce instantáneamente, pudiendo diferir con el tiempo en relación a una misma cosa, es decir, se toma en este caso a la calidad como un *sentido personal*. En la misma línea se manifiesta Pirsig⁶, para el que «la calidad no es mente ni materia, no se puede definir, cada uno sabe lo que es», es decir que *la calidad es algo totalmente personal y escapa de una definición concreta del concepto*.

Enfoque basado en el producto

Se basa en una estrategia de diseño focalizada en el producto, de manera que la calidad de éste es medible y está *determinada por una variable precisa y cuantificable*⁷, de manera que las diferencias de calidad reflejan las diferencias en la cuantía de uno o varios ingredientes que debería haber poseído el producto final.

⁴ A este respecto pueden consultarse las aportaciones realizadas por autores consagrados en el aseguramiento de la calidad tales como: JURAN, J.; DEMIN, A.; GARVIN, A.; CROSBY, D.; ISHIKAWA, K.; TAGUCHI, I., algunas de cuyas obras más conocidas son citadas en el apartado bibliográfico.

⁵ Cita tomada de JAMES, P., *op. cit.*, p. 63.

⁶ Ídem anterior, *op. cit.*, p. 63.

Enfoque basado en el usuario

Se sustenta en la premisa de que la calidad solamente la determina el usuario del producto o servicio. Se considera según esta óptica que los consumidores individuales tienen diferentes gustos y necesidades, y los productores que mejor satisfacen sus preferencias son considerados como los que poseen una mayor calidad percibida.

Enfoque basado en la fabricación

Sigue las orientaciones de Crosby que enfoca la calidad desde la óptica de la conformidad con los requisitos. Según este enfoque —donde los procesos de ingeniería y fabricación son especialmente considerados—, las especificaciones y parámetros del producto deben orientar las estrategias de fabricación, que deben asegurar las mínimas desviaciones del modelo estándar.

Enfoque basado en el valor

Según esta óptica —defendida por Garvin, A.—, la base del concepto calidad radica en la comprensión psicológica del significado *valor*. Según este autor, la calidad se correlaciona con el precio del producto. Este enfoque está hoy entroncado en la sociedad occidental y mucha gente define la calidad en términos de precio, sin embargo produce paradojas que no son fáciles de resolver por los profesionales del marketing de productos.

LOS FACTORES DE LA CALIDAD

Para poder evaluar la calidad de un producto o servicio, es necesario disponer de unos índices o referentes a partir de los cuales podamos fundamentar nuestras observaciones y decisiones a cerca de los mismos. En este sentido Garvin⁸, ha apuntado ocho factores que considera son los que afectan a las opiniones del sujeto que debe decidir sobre la calidad de un producto o servicio y que este autor denomina como *dimensiones de la calidad*. A continuación se describen muy brevemente, indicando su contenido y características principales. Hay que tener en cuenta además que estas dimensiones aunque bastante dife-

⁷ Este enfoque coincide con el dado por GARVIN, A.

⁸ *Harvard Review*, 1983. Tomado de JAMES, P., *op. cit.*, pp. 66 y ss.

rentes, pueden sin embargo estar interrelacionadas entre sí, y además su importancia es diferente dependiendo del producto o servicio que se esté evaluando. Tales factores son:

- *Actuación*: Incluye las «principales características» del producto o servicio. Condiciona la calidad a la aplicación de los aspectos basados en el producto y en el usuario.
- *Características*: Se refiere a las «características secundarias» que completan el funcionamiento básico del producto. Ofrecen un conjunto de atributos adicionales que contribuyen a completar el paquete entero que compra el cliente.
- *Fiabilidad*: Es la cualidad del producto o servicio para comportarse según lo esperado durante un período específico de tiempo. Está en línea con el enfoque de calidad dado por Juran y es mensurable utilizando para ello el tiempo medio del primer fallo, o el tiempo medio entre fallos, aunque se pueden utilizar otros procedimientos de medida.
- *Conformidad*: Es el nivel al que llega un producto diseñado para satisfacer la normativa existente. Hoy se considera como el tema central en la gestión de la calidad.
- *Durabilidad*: Es la medida de la vida del producto. Existen problemas para su definición, ya que por ejemplo, en los servicios es escasa por lo general. La durabilidad está íntimamente relacionada con la fiabilidad y conlleva la fidelidad del cliente hacia el producto.
- *Utilidad*: Es la habilidad de ofrecer al usuario una reanudación en el patrón normal de trabajo, lo que significa: rapidez de servicio, disponibilidad, coste más bajo, etc. Está íntimamente relacionado con los factores de fiabilidad y actuación, siendo una dimensión claramente visible para el usuario del producto o servicio, por lo que en los últimos tiempos se le ha prestado mucha atención.
- *Estética*: Refleja la respuesta o reacción del usuario de un producto ante características del mismo tales como: tacto, gusto, olfato, vista oído, etc. Es de naturaleza individual, y refleja un juicio personal. A pesar de su naturaleza eminentemente subjetiva tiene una dimensión poderosa y puede llegar a reflejar normas de grupo o tendencias de uso como ocurre por ejemplo en la moda.
- *Calidad percibida*: Recoge la noción que los consumidores de un producto tienen sobre las características totales del mismo. Esta informa-

ción ha aumentado últimamente a causa del trato directo con el proveedor, y la aparición de productos similares, lo que les otorga a los usuarios una medida sobre lo que evaluar.

LOS MÉTODOS DE CONTROL DE LA CALIDAD

De todo lo anterior se desprende que la *calidad* es un concepto complejo y difícil de definir y por consiguiente de evaluar. Sin embargo, a medida que esta cualidad de los productos y servicios va tomando cuerpo e importancia en la sociedad, ha sido necesario crear métodos, normas y procedimientos que fuesen capaces de establecer medidas para la misma. En este sentido puede decirse que los criterios que han guiado las metodologías para el control de la calidad, han evolucionado con arreglo a las siguientes etapas:

- Calidad mediante inspección.
- Control estadístico de la calidad.
- El aseguramiento de la calidad.
- La calidad como estrategia competitiva.

Actualmente, y como se ha indicado en los párrafos introductorios, la calidad es observada por las empresas y productores de bienes y servicios como un elemento de excelencia que las coloque en una situación preferente frente a sus competidores, por lo que las metodologías y actuaciones en materia de calidad van enfocadas en este sentido.

Entrando en el contenido de las acciones a tomar para asegurar la calidad de productos y sistemas, la primera medida que habría que tomar en materia de calidad por parte de las empresas será la de *su evaluación*, es decir, el análisis del producto o servicio obtenido frente a los estándares que se consideran como óptimos. Esta primera etapa se conoce como *diagnóstico de la calidad*, y es como se ha dicho, la primera medida a tomar en la implantación de cualquier sistema moderno de gestión de la calidad.

El *diagnóstico de la calidad* puede definirse como⁹: «El examen metódico de las prácticas y medios dispuestos por la empresa para evaluar y mejorar la calidad de sus productos o servicios». Según Llorens y Fuentes¹⁰ existen tres procedimientos de evaluar la calidad de un producto o servicio:

⁹ Ver: LORENS, F. J., y FUENTES, M., *op. cit.*, p. 75.

¹⁰ *Op. cit.*, pp. 76 y ss.

- Evaluación de la calidad externa → Realizada por el cliente o usuario.
- Evaluación de la calidad interna → Realizada por la propia organización.
- Evaluación de los costes de calidad → Basado en el enfoque de Juran¹¹.

Pero para realizar tal evaluación, se requiere de unos determinados *métodos de control* en el desarrollo del producto o sistema. En este sentido Llorens, F.J. indica que¹²: «La función de control en los productos obtenidos por la empresa al igual que en cualquier sistema abierto implica verificar que todo se efectúa de acuerdo al programa previamente adoptado y a los principios de calidad admitidos».

Más concretamente, refiriéndose al control de la calidad dentro del ámbito del diseño, la Asociación de Industria de Navarra (AIN) señala que¹³: «*el control de la calidad en el diseño es el proceso mediante el cual se mejora la calidad del producto mediante la evaluación sistemática del proceso*», y continúa: «consiste básicamente en la comprobación formal, de acuerdo con un método determinado, realizada por personas que no están directamente asociadas al desarrollo del mismo, pero que tienen gran experiencia y responsabilidad sobre el diseño, fabricación y ciclo de vida del producto». Se pone así de manifiesto, en qué consiste el concepto de calidad en el diseño y cómo debe realizarse.

En este sentido, AIN señala que los *elementos claves* para realizar una «Revisión de diseño» con la máxima eficacia han de ser:

- *Formal*: La «revisión de diseño» ha de ser realizada de manera *formal*, es decir, se trata de una evaluación controlada y organizada, cuyos resultados y procedimientos quedan registrados y archivados.
- *Sistemática*: La «revisión de diseño» se rige por formas y procedimientos establecidos, y afecta a todos los elementos materiales e inmateriales que componen el producto o sistema.
- *Específica*: Es llevada a cabo por personas con amplia experiencia y conocimiento de las áreas funcionales intervinientes en el diseño,

¹¹ Ver Juran y *el liderazgo para la calidad*, Ed. Díaz Santos, Madrid, 1990, y *Juran y la planificación de la calidad*, Ed. Díaz Santos, Madrid, 1990.

¹² Ver *op. cit.*, p. 104.

¹³ Ver *La calidad en el área de diseño*, Asociación de la Industria de Navarra (AIN), Ed. Díaz Santos, S.A., Madrid, 1991, p. 33.

pero no relacionadas directamente con el desarrollo del producto, con lo que se asegura una visión nueva e imparcial que favorece la calidad del mismo.

Se indican además cuáles son las *fases* que deben seguirse en la «Revisión formal de diseño», que a juicio de los autores, deben ser¹⁴:

- 1.º *Revisión conceptual o preliminar.*— Debe realizarse antes de comenzar el diseño propiamente dicho del producto o sistema, y consiste en comprobar que las especificaciones o requisitos del mismo están en concordancia con los deseos del cliente, necesidades del mercado, normativa vigente, etc.
- 2.º *Revisión intermedia.*— Se realiza a lo largo de las diferentes fases que constituyen el diseño completo del producto o sistema, mediante las pruebas, chequeos, auditorías, etc. que previamente hayan sido establecidas.
- 3.º *Revisión final.*— Se realiza cuando el diseño se da por finalizado y antes de comenzar la fabricación del producto.
- 4.º *Revisiones de homologación.*— Son las que tienen lugar —en ocasiones conjuntamente con el cliente o usuario final—, a la finalización del producto acabado, y tienen como misión comprobar que el mismo se ajusta a los fines u objetivos para los que fue creado.

Todas las fases citadas pueden producir «retrofits», es decir, vueltas atrás del diseño y fabricación del producto o sistema.

Sentada la necesidad del aseguramiento de la calidad en todo tipo de productos, vamos a centrar la atención en lo que constituye el objeto principal del trabajo, es decir, el aseguramiento de la calidad en los sistemas.

LA CALIDAD EN EL DESARROLLO DE SISTEMAS

Siempre que se realiza el diseño y desarrollo de un sistema, cualquiera que sea su ámbito de aplicación, y por completo y exhaustivo que haya sido su discurso y el volumen de recursos aplicados, no puede garantizarse *a priori* que se

¹⁴ AIN, *op. cit.*, p. 34.

haya generado un producto o sistema que sea plenamente perfecto, es decir, ausente de errores a lo largo del ciclo de vida para el que fue diseñado. En efecto, por cuantiosos y específicos que hayan sido los recursos empleados (tanto materiales como humanos), como extensa haya sido la duración del proceso de análisis y exhaustivas las pruebas efectuadas sobre el sistema, nunca puede asegurarse que en determinadas condiciones especiales —no previstas obviamente por el analista— el sistema se comporte en forma diferente a la considerada como correcta.

Sin embargo, las Administraciones, tanto públicas como privadas, responsables de estos productos, están cada vez más interesadas en que los bienes y servicios utilizados por la sociedad en general, *tengan unos mínimos niveles de calidad* previamente establecidos¹⁵. Esta exigencia social que cada día va cobrando mayor fuerza en nuestras sociedades hace que los órganos que prestan tales servicios (tanto públicos como privados) exijan a su vez de sus proveedores que los productos por ellos diseñados alcancen tales niveles de calidad actualmente normalizados y controlados por organismos a tal efecto creados¹⁶.

Por el otro lado, es decir, por parte de los productores de tales bienes (sistemas o servicios en general), dichas exigencias de productos con calidad efectuadas por sus clientes, ha hecho que se intensifiquen los recursos empleados en las operaciones de prueba de sus productos para asegurar tales niveles de calidad y fiabilidad de los mismos.

Dado que el objetivo del presente trabajo es aportar algunas medidas para la mejora de la calidad en el desarrollo de *sistemas complejos*, vamos a detenernos a continuación —aunque sea muy brevemente—, a definir qué debe entenderse por tales sistemas.

¹⁵ Ver PÉREZ-FERNÁNDEZ, J. A.: *Gestión de calidad orientada a procesos*, ESIC, Madrid, 1999, donde en su presentación se señala: «El aumento del nivel de vida, la mayor disponibilidad de recursos, el incremento de la información, la progresiva toma de conciencia por parte de los consumidores, de su posición y de sus derechos, los adelantos tecnológicos, la competencia creciente entre las empresas y organizaciones, la mundialización de la economía, la acción de vigilancia y control de los poderes públicos, etc., crean un entorno en el que la calidad tiende a apreciarse cada vez más. Las empresas advierten en la calidad y en los programas y metodologías que a ella conducen una vía imprescindible hacia el desarrollo, rentabilidad y crecimiento, favoreciendo el éxito de sus productos, la reducción de sus costes y la eficacia de su funcionamiento».

¹⁶ En estos últimos tiempos ha sido desarrollado todo un conjunto de normativas en torno a la calidad, existiendo organismos a nivel nacional e internacional que se encargan de emitir las mismas, al tiempo que se hacen garantes de su cumplimiento para certificar el nivel de calidad de los productos inspeccionados. Ver a este respecto el epígrafe dedicado a la normalización en el control de calidad del apartado anterior.

EL CONCEPTO DE SISTEMA Y SU APLICACIÓN AL PRESENTE TRABAJO

El término *sistema* es profusamente utilizado en distintas áreas de conocimiento y con contenidos claramente diferenciados¹⁷. Algunas de las acepciones de uso generalizado son: en el ámbito político-social los sistemas políticos, para designar la forma de organización política de la sociedad; en física son estudiados los sistemas cristalográficos, termodinámicos, etc.; los sistemas operativos son objeto de análisis en las ciencias de la computación; los sistemas de numeración, de ecuaciones, etc., son de uso frecuente en la matemática, etc. También en el ámbito económico está tomando este concepto una profusa utilización. Por citar algún ejemplo de amplia aplicación, se podrían citar: los sistemas fiscales, que hacen referencia a las distintas formas impositivas con que se dotan los países para soportar el gasto público generado; los sistemas de organización en la empresa, los sistemas monetarios en el ámbito macroeconómico, y dentro de la banca puede señalarse los sistemas bancarios, etc.

Como consecuencia de esta profusión de ámbitos y materias distintas en las que el término *sistema* se venía empleando para designar un conjunto de elementos componentes de un todo, se hizo necesaria la creación de una nueva vertiente de estudio conocida como «enfoque de sistemas»¹⁸, es decir, dado un determinado conjunto de elementos y fijado un objetivo, encontrar los caminos o medios para alcanzarlo requiere que el especialista en sistemas considere las soluciones posibles y elija aquella que aporte la máxima eficiencia con el mínimo coste en una red de interacciones tremendamente compleja.

Tratando de aproximarnos a un concepto de sistema que se ajuste lo más posible a la utilización que de este término se hace en el presente trabajo, señalaremos que autores como Bertalanffy, L.; Klir, J. G.; Chursman, M.; Rosnay, J.; Cárdenas, M. A.; Aracil, J., y Ashby, R.¹⁹, han dado su particular idea sobre

¹⁷ Véase a este respecto el planteamiento que de este término y de la «Teoría general de sistemas» se hace por L. VON BERTALANFFY en la Introducción de su obra *Teoría General de Sistemas*. Ver también los distintos enfoques dados por M. A. CÁRDENAS en *El enfoque de sistemas. Estrategias para su implementación*; la Introducción que hace R. LILIENTHAL en la *Teoría de los Sistemas*, o las de C. W. CHURCHMAN en *El enfoque de Sistemas*. Además puede consultarse también desde un enfoque sociológico el estudio efectuado por W. BUCKLEY. Todos estos textos se hallan referenciados en la bibliografía.

¹⁸ Ver *Tendencias de la Teoría General de Sistemas*, de L. VON BERTALANFFY, Introducción, p. 2.

¹⁹ Existe una extensa bibliografía sobre la *Teoría General de Sistemas*. En el apartado bibliográfico se han recogido algunas de las obras que versan sobre estos temas por los autores señalados.

la «noción de sistema». No entraremos a estudiar detenidamente las ideas defendidas por los autores citados. De todas ellas se pueden extraer las siguientes consideraciones, que nos acercan al concepto de sistema:

- En primer lugar, que un sistema es un todo que se compone de un conjunto de elementos o partes de naturaleza heterogénea y en ocasiones complejas.
- Que tales elementos se encuentran interrelacionados entre sí dentro del sistema.
- Que el todo (sistema) no tiene porqué suponerse compuesto por la suma de las partes que lo componen.
- Que el sistema interacciona también con el exterior recibiendo inputs y emitiendo outputs hacia este.
- Que el sistema existe o es creado para cumplir una determinada función, o conjunto de funciones (fines u objetivos del sistema).
- Que es preciso extraer del sistema solamente las partes relevantes en función de los objetivos que se pretenden conseguir.

Haciendo una compilación de las distintas concepciones y de las ideas expuestas en las mismas, y tratando de acercarlas al contenido que del concepto sistema quiere hacerse en el presente trabajo podríamos concluir que, un *sistema* es un «conjunto de elementos materiales, inmateriales y de información, íntimamente relacionados entre sí y que actúan conjunta y ordenadamente, para la consecución de unos fines u objetivos previamente definidos».

Pero además, cuando el número de elementos a manejar por el sistema —tanto elementos materiales como de información²⁰—, es muy numeroso, como es el caso de los *sistemas complejos*²¹ que constituyen la referencia del

²⁰ En el presente trabajo se considera elemento de información (e.i.) a todo documento, archivo, informe, dato, variable, gráfico, información en soporte físico, óptico o magnético, comunicación de cualquier tipo (incluso verbal), etc., que tenga un contenido capaz de poder extraer de él una información más o menos compleja. Se trata, por tanto, de un concepto muy amplio, por lo que puede ser «extensamente utilizado» para denominar cualquier elemento material o inmaterial del cual pueda extraerse alguna información. Para su denominación se utilizarán también las siglas (e.i.).

²¹ En el presente trabajo se entiende por «sistemas complejos» aquellos que tienen que realizar un conjunto de funciones de carácter complicado para el cumplimiento de sus fines. En éstos, el número de elementos a manejar —y en particular de elementos de información (varia-

trabajo, tanto su tratamiento y selección a lo largo de los procesos de análisis y diseño que dan lugar a su desarrollo, como su posterior verificación de funcionamiento y correcto mantenimiento durante su ciclo de vida se hace mucho más dificultosa.

Teniendo en cuenta esta concepción de sistema, los requisitos que deberían cumplir aquellos a los que fuere de utilidad la aplicación de los métodos de mejora de la calidad que se apuntan aquí, serían los siguientes:

- a) Sistemas en los que se manejen gran volumen de elementos de información (variables, datos, documentos, informes, etc.).
- b) Sistemas que necesiten un conjunto de elementos materiales (maquinaria, elementos de transporte, materias primas, etc.) e inmateriales (conocimientos específicos de las personas, normativas a aplicar, organización específica, etc.), para el cumplimiento de sus fines u objetivos para los que ha sido creado.
- c) Sistemas cuyo origen de desarrollo se produzca como consecuencia de un conjunto de objetivos y fines a cumplir previamente definidos.
- d) Sistemas que se encuentren inmersos en un entorno real y sometidos por tanto a interferencias o incidencias externas al mismo.
- e) Sistemas dinámicos, es decir, que los estados de sus variables internas se vean modificados con la ejecución de las funciones para las que fue creado.

CAUSAS DE ORIGEN DE ERRORES EN EL DESARROLLO DE SISTEMAS

Centrados ya en el tipo de sistemas en los que se va a focalizar nuestra atención vamos a señalar cuales son las «causas» que con carácter general se suelen dar en el desarrollo de los sistemas y que dan lugar a la producción de errores.

Algunos organismos como AIN (Asociación de la Industria de Navarra) han creado metodologías orientadas al análisis de fallos y aseguramiento de

bles, datos, documentos, gráficos, informes, etc.)—, tanto en su desarrollo como en su posterior mantenimiento, será necesariamente muy elevado, y en muchos casos llegarán a ser miles los e.i. implicados.

la calidad en los sistemas. El modelo de análisis desarrollado por AIN es el AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos), que según su propia definición²²: «Es un método inductivo de análisis de la seguridad o fiabilidad del funcionamiento de un sistema, utilizando para ello el estudio sistemático de las causas y consecuencias de los fallos que pueden afectar a sus elementos».

Los principales *objetivos* que se propone AMFE son²³:

- a) Analizar las consecuencias de los fallos que pueden afectar a un producto o sistema.
- b) Identificar los modos de fallo que tengan consecuencias importantes respecto a los criterios previamente establecidos.
- c) Precisar para cada fallo los medios o procedimientos de detección.
- d) Poner en evidencia los fallos, divulgando la información de los mismos.

Las personas o analistas encargadas del AMFE deben investigar cuáles son las *causas posibles* de cada modo de fallo, y determinar²⁴:

- Cuáles son los medios de *identificar* el fallo.
- Cuáles son las *acciones correctoras* posibles y necesarias.

Como para definir las *acciones correctoras* necesarias para prevenir y corregir errores, es necesario primeramente identificar cuales han sido las causas productoras de los mismos, a continuación se indican los resultados obtenidos en el estudio realizado en el área departamental creado a tal efecto, por una organización empresarial dedicada al desarrollo, producción y mantenimiento de sistemas complejos en el ámbito de las telecomunicaciones²⁵.

²² Ver *La calidad en el área de diseño*, AIN, p. 45.

²³ *Op. cit.*, p. 46.

²⁴ *Op. cit.*, p. 47.

²⁵ El organismo (departamento corporativo) al que se hace referencia es SPI Overview (System Process Improvement), dependiente de Alcatel, S.A. Sistemas de Conmutación Digital. La tabla de «causas de error» recogida es un resumen, adaptado a las necesidades del presente trabajo, de la documentación editada por dicho organismo en marzo de 1997.

Index	Detalle o Causa del Error	N.º de errores	Porcentaje (%)
1	Falta de conocimientos del Sistema	90	28,5
2	No considerar todos los casos posibles	104	32,9
3	Mal entendimiento de los requerimientos del cliente	2	0,6
4	Defectos de comunicación entre analistas.	16	5,1
5	Disminución tiempo de análisis	85	26,9
6	Mala asignación de las tareas de trabajo	6	1,9
7	Otras causas no especificadas	13	4,1
8	Total causas	316	100

En el cuadro anterior puede apreciarse como de los 316 defectos analizados, las causas principales atribuidas a la aparición de los mismos en el desarrollo del sistema son las siguientes:

- *No considerar todos los casos posibles*: Esto quiere decir que en el análisis efectuado para realizar las funciones que debe cumplir el sistema o la elección de los elementos de información necesarios para analizarlas no se ha contemplado toda la casuística posible, es decir, todas las eventualidades que dicha función debía cubrir, por lo cual al probar el sistema en su globalidad han aparecido casos y eventos no tenidos en cuenta en el análisis y diseño. Esta, puede decirse, es una de las causas principales de origen de defectos en todo sistema y se debe principalmente a la precipitación en el estudio del mismo, o a no haber seguido la metodología de análisis escrupulosamente.
- *Falta de conocimientos del sistema*: Esta segunda causa importante de producción de errores es autoexplicativa. En efecto, para acometer el proceso de análisis de un sistema hay que tener unos conocimientos previos lo más profundos posibles acerca del mismo —*know how*— que son adquiridos por la práctica de análisis y diseños de sistemas anteriores pertenecientes al mismo ámbito de estudio, o a otros campos de conocimiento similares al que se está desarrollando. Obviamente, la calidad del producto o sistema desarrollado estará en razón directa de la calidad y cantidad de conocimientos específicos sobre la materia que posea el analista, aunque no sea esta la única variable a considerar, por cuanto los medios materiales dedicados y el tiempo invertido en dicho

análisis, también son elementos imprescindibles para la consecución de los objetivos marcados.

- *Exceso de trabajo y Reducción del tiempo de análisis*: Esta tercera causa es también importante a la hora de evaluar las circunstancias que llevan a introducir errores en el sistema, y viene a ser una continuación o complemento de la anteriormente analizada, es decir, forma parte del conjunto de premisas a fijar al comienzo del desarrollo de un sistema. Habrá de tenerse en cuenta además, que la calidad del producto o sistema desarrollado depende en buena parte del compromiso: coste/calidad que se fije al comienzo del análisis. Sin embargo, como ya se ha indicado en párrafos anteriores, actualmente la sociedad está especialmente preocupada por la calidad de los productos y sistemas, lo cual hace que en muchas ocasiones sean sacrificadas otras variables u objetivos en favor de la calidad, en la idea de que tal producto, servicio o sistema, tenga permanencia temporal en el mercado o en la sociedad a la que va destinado.

Por otro lado para asegurar la calidad, hay que realizar un conjunto de «*actividades*»²⁶, de las cuales pueden señalarse como más relevantes las siguientes:

- *Verificación*: en forma de revisiones, inspecciones, pruebas, etc. que aseguren que los elementos (materiales e inmateriales) producidos en cada fase del proceso conllevan los niveles de calidad requeridos.
- *Pruebas específicas*: realizadas al final del proceso de análisis del producto o sistema en forma de pruebas de integración, pruebas de sistemas, pruebas de cualificación o validación, etc. que aseguren que todos y cada uno de los elementos que constituyan el producto final cumplan todas las funciones para las que fueron creados.
- *Auditorías*: es decir, inspecciones concretas y periódicas realizadas a lo largo de la vida del producto y que sirvan para acreditar el mantenimiento de la calidad en los niveles inicialmente establecidos a lo largo del ciclo de vida del sistema o producto en uso por parte de la sociedad.

²⁶ Según indica PÉREZ-FERNÁNDEZ, J. A. (*op. cit.*, p. 30): «La calidad no es un valor añadido a un producto, sino que ha de conseguirse mediante una metodología de gestión adecuada», y continúa: «La calidad se gestiona mediante técnicas de uso regular, acompañadas de una metodología adecuada y de herramientas específicas».

- *Actividades generales de aseguramiento de la calidad*: como un soporte continuo a realizar durante el desarrollo del sistema y posteriormente en el ciclo de vida del mismo y que se materializarán en forma de: creación y seguimiento de normas que velen por la calidad del producto (RCA), establecimiento de grupos de trabajo que persigan y hagan cumplir la normativa (PM), reuniones y *reports* de seguimiento de la misma, etc.

Finalmente cabe preguntarse: *¿cuales son los objetivos que se esperan conseguir de tales prácticas?* Entre otras, el grupo de trabajo SPI Overview destaca como más importantes las siguientes:

- 1.º *Mejorar el conocimiento* que actualmente se tiene de los momentos, fases y causas de producción de errores, a fin de poder *establecer criterios* que eviten su inclusión en el futuro.
- 2.º *Poder detectar los errores producidos e introducidos en el sistema en las fases más tempranas del proceso* a fin de que los mismos no se propaguen en fases posteriores. En efecto, dado que la metodología de desarrollo de sistemas en la que está basada este estudio es de carácter progresivo²⁷, de tal forma que los elementos de información producidos o generados en una fase son utilizados como e.i. de entrada para la fase siguiente, lo cual significa que un error producido y no detectado en la etapa anterior va a generar con un efecto multiplicador nuevos errores en las fases subsiguientes, y es por ello por lo que *es de especial importancia su detección en las fases más tempranas posibles*.
- 3.º *Mejoras en el control de las desviaciones*, lo cual significa que determinados riesgos que puedan ser conocidos de antemano sean seguidos y medidos con prontitud a lo largo del proceso de análisis a fin de detectar las desviaciones con respecto a la funcionalidad correcta, y así poder *implementar las acciones preventivas adecuadas* para su corrección en el momento preciso.
- 4.º *Permanente comunicación* con el cliente o usuarios finales del sistema a todo lo largo del análisis y desarrollo del mismo, a fin de poder

²⁷ La metodología de análisis y desarrollo de sistemas complejos en la que está basada este estudio está descrita en *Metodología de análisis y desarrollo de Sistemas Complejos. Una aproximación al estudio y selección de sus elementos de información*, Tesis doctoral de R. BRAVO MONROY, mayo de 2001.

detectar las posibles desviaciones en cuanto a los requerimientos pedidos por estos lo antes posible y que tales interpretaciones incorrectas no se propaguen en forma de errores en el sistema.

5.° *Establecimiento de reglas* para las inspecciones, lo cual significa que las mismas deben ser:

- Planeadas previamente y perfectamente documentadas en cuanto a su ejecución.
- Los resultados deben ser certificados por el responsable de las mismas.
- Los participantes (de uno y otro lado) que realicen la inspección deben de estar de acuerdo con los resultados obtenidos en la misma.
- Como consecuencia de la inspección deben resultar los reportes y métricas necesarias para obtener las oportunas conclusiones.
- Tales inspecciones deben ser realizadas a todo lo largo del proceso de análisis, es decir, en las diferentes fases del mismo.

TIPIFICACIÓN DE LOS ERRORES DEL SISTEMA

De los apartados anteriores se desprende que los procedimientos que se pueden acometer para asegurar la calidad en los sistemas por medio de prácticas preventivas y correctivas en las diferentes fases que componen su proceso de análisis y desarrollo pueden ser muy diversos.

Los métodos de aseguramiento de la calidad en los sistemas que van a ser propuestos en apartados posteriores, están basados en el análisis de los errores bajo la óptica de las características (naturaleza y tipología) de los e.i.²⁸ que forman parte del desarrollo, así como de los que componen el sistema una vez desarrollado.

Para poder identificar y tipificar los errores encontrados en las pruebas de verificación del sistema, es necesario contar previamente con una tabla clasificatoria que nos permita poder asignar una tipología concreta para cada error. Esta tabla que ha de ser tomada como patrón, tiene que ser suficientemente amplia en sus contenidos para que permita incluir en ella todos los tipos de los numerosos e.i. que son manejados en los sistemas complejos. Además ha de ser también suficientemente *explícita* para que puedan ser estudiados los e.i. desde distintas ópticas, y así poder tener un conocimiento más preciso y detallado de los mismos.

²⁸ Ya se ha definido en notas anteriores qué se entiende por elemento de información (e.i.).

Después de un amplio y detenido análisis en busca de una tabla clasificatoria que reuniera estos requisitos, y que además fuera lo suficientemente amplia para poder ser utilizada en sistemas complejos pertenecientes a diferentes campos de aplicación, se encontró que la realizada por el profesor Sierra Bravo²⁹ se ajustaba en buena media al tratamiento de los e.i. que se pretende dar aquí, por cuanto aporta una óptica generalista de las variables, y además permite observarlas desde distintos puntos de vista, con lo cual se obtiene una definición muy concreta de las características propias que representa la información que aporta al sistema un determinado e.i. Tal clasificación, una vez adaptada a nuestros propósitos es la siguiente:

Clasificación de los Elementos de Información

Tipos de e.i. según su:	Se clasifican en:	Con las subclases	En los subtipos
Naturaleza:	Cualitativas Cuantitativas:	Discretas Continuas	
Amplitud:	<i>Individuales:</i>	<i>Absolutas:</i> <i>Relativas:</i> <i>Colectivas:</i>	De base De personalidad De conducta Comparativas Relacionales Contextuales Analíticas Globales Estructurales
Nivel de abstracción:	Generales Intermedias Empíricas Concretas		
Escala de Medición:	Escala nominal Escala ordinal De intervalo De razón		
Posición en proceso de Investigación:	Internas (Endógenas): Externas (Exógenas):	Dependientes Independientes Relevantes Irrelevantes	

²⁹ Ver SIERRA BRAVO, R.: *Técnicas de Investigación Social*, Ed. Paraninfo, Madrid, 1992,

Esta clasificación presenta las siguientes *ventajas*:

- 1.º *Es una clasificación amplia*, ya que ofrece descripciones genéricas para los tipos de variables que la componen. En efecto, antes de adoptar esta clasificación como base de referencia para tipificar los e.i. del sistema fueron realizadas distintas aproximaciones a ámbitos de estudio diferentes como: el técnico-informático, económico, político-social, educativo, etc., para así asegurar que las definiciones genéricas dadas a cada tipo de los recogidos en la clasificación permitía ser aplicada o extrapolada a distintos ámbitos de estudio, lo que constituía premisa principal de nuestro trabajo.
- 2.º *Permite cinco criterios clasificatorios diferentes*. Esta, es una cualidad de gran importancia, ya que permite ver un e.i. desde cinco ópticas distintas, lo cual hace que pueda ser estudiado más en profundidad. Esto constituye un objetivo básico en esta metodología, ya que *el poder analizar un mismo e.i. desde distintas ópticas permite un conocimiento más perfecto del mismo*.
- 3.º *Permite modificar la clasificación originaria*. En efecto, por mucho que se ajustara una clasificación al propósito que se perseguía, no podía ser utilizada de forma completamente igual a la dada por el Prof. Sierra Bravo, siendo necesaria adaptarla en algunos aspectos a nuestras necesidades, pero tal y como se decía en el primer apartado la clasificación está concebida en forma «abierta», lo cual permite la introducción, modificación o exclusión de algunos tipos dentro de cada clase, para adaptarla más fielmente a los objetivos que se persiguen.

Teniendo en cuenta la tabla clasificatoria anterior, y tomando una muestra representativa de los errores encontrados en el sistema tomado como modelo de referencia³⁰, durante sus pruebas de verificación y homologación se ha realizado una tipificación de errores, atendiendo a distintos criterios. A partir de ella se ha llegado a los resultados que a continuación se describen:

³⁰ El sistema sobre el que se realizó el estudio fue el sistema de conmutación digital para tratamiento de voz y datos: A.1000_s12. Tanto el nombre como toda la documentación relativa a este sistema es propiedad de Alcatel, S.A. La utilización que se ha hecho en el presente trabajo de la documentación del mismo ha sido exclusivamente de *carácter genérico* a fin de poder extraer de ella informaciones de carácter general, con el objeto de poder obtener conclusiones que pudieran ser trasladables a otros sistemas complejos pertenecientes a otros ámbitos distintos de las telecomunicaciones.

Clasificación de los tipos de errores: Se ha hecho atendiendo a los siguientes criterios:

- 1.º) *Por el tipo u origen del error (OE).*— Lo que se quiere indicar aquí es el momento o la fase del proceso en la que el error fue detectado, es decir, su origen de aparición durante el análisis y desarrollo del sistema. Los resultados a los que se llegaron son:

Atendiendo al Origen del Error

Descripción de la fase de detección del error	N.º de errores	Porcentaje (%)
Definición de requerimientos del sistema	2	4,5
Fases de diseño del sistema	11	25,0
Definición de datos	3	6,8
Pruebas de verificación	24	54,6
Pruebas de aceptación/homologación	4	9,1
Total de errores analizados	44	100

Del cuadro anterior puede extraerse la siguiente *conclusión*: las fases de detección de errores más significativas son las de diseño del sistema (aprox. un 25% del total) y las de pruebas de verificación (aprox. un 55% del total), lo cual resulta lógico si se piensa que son las fases en las que se lleva a cabo la realización material del sistema (las primeras), y se comprueba su correcto funcionamiento (la segunda).

- 2.º) *Por la fase más temprana de detección del error (FT).*— En esta columna se indica cual debería haber sido (obviamente a juicio del que realiza el análisis del error, que por otro lado se supone experto en el sistema analizado), la fase en que dicho error debería haber sido detectado para no generar por propagación, errores en fases de análisis posteriores. Según este criterio, y a juicio del analista que realiza el estudio, los resultados obtenidos fueron:

Atendiendo a la Fase más Temprana de Detección del Error

Descripción de la fase de detección del error	N.º de errores	Porcentaje (%)
Definición de requerimientos del sistema	2	4,5
Fases de diseño del sistema	30	68,2
Pruebas de verificación	9	20,5
Pruebas de aceptación/homologación	3	6,8
Total de errores analizados	44	100

A la vista de los resultados anteriores, se puede realizar la siguiente *reflexión*: Como se aprecia, la mayor parte de los juicios de valor respecto al momento en el que deberían haber sido detectados los errores, se focaliza en las primeras fases del proceso de desarrollo, lo cual pone de manifiesto la inquietud por parte del analista en detectar los errores lo antes posible para que estos no se propaguen por el sistema en fases subsiguientes, tal como se indicaba anteriormente. De hecho, centrándonos en los porcentajes de las últimas fases vemos que son muy pequeños, lo cual viene a reforzar la idea anterior.

- 3.º) *Por el modelo-fase al que afectan (MTIP).*— Se indican en esta columna los distintos tipos de modelos implicados en correlación con la fase en que ha sido detectado el defecto recogido en el apartado «1.º», es decir, se traslada el momento en que ha sido detectado el defecto en el modelo utilizado como referencia en el desarrollo.

Según esto, y atendiendo a las cinco fases de análisis utilizadas en el desarrollo del sistema³¹ se puede construir la siguiente tabla:

³¹ Según la metodología de análisis y desarrollo de sistemas complejos apuntada en notas anteriores.

Atendiendo al Modelo-Fase al que afectan

Modelo-Fase: Descripción	N.º de errores	Porcentaje (%)
Modelo-Fase 1: Análisis de Contenidos	2	4,5
Modelo-Fase 2: Definición de elementos globales (Unid. Funcionales)	8	18,2
Modelo-Fase 3: Diseño de elementos y definición de interrelaciones	10	22,7
Modelo-Fase 4: Realización de elementos materiales <u>y de información</u>	12	27,3
Modelo-Fase 5: Comprobación de contenidos y resultados	12	27,3
Total de errores analizados	44	100

Estos porcentajes indican el peso que los errores encontrados en el sistema tienen sobre las distintas fases de desarrollo del mismo, y como vemos se van incrementando a medida que transcurren las mismas. De ello se pueden extraer dos conclusiones:

- 1.^a En primer lugar, es lógico que el mayor número de errores aparezca en aquellas fases en las que los controles del producto son más exhaustivos por cuanto son actividades que van directamente enfocadas al descubrimiento y corrección de defectos en el sistema, y es precisamente en estas fases últimas donde tales controles son más intensivos tanto en número como en profundidad de análisis.
- 2.^a En segundo lugar, porque en estas fases últimas es donde se manejan el mayor número de elementos de información (variables, datos, etc.) que componen el sistema, y por tanto el riesgo de cometer errores en ellas es también más probable. Además, en estas fases últimas, debe utilizarse e interpretarse la información generada en las fases anteriores, lo cual representa también una fuente adicional de generación de defectos.

Por la importancia que esta información aporta para la optimización del número de errores del sistema también será utilizada más adelante en los modelos de corrección de errores que serán formulados.

- 4.º) *Por la prioridad o importancia asignada al error (PC).*— Esta característica recoge la apreciación —en todo caso subjetiva—, de la importancia que el error o defecto detectado y documentado tiene para el sistema, y entendiéndose que es necesario incluirlo en el análisis de defectos que se está efectuando, por cuanto puede ser utilizado como criterio o característica relevante o de importancia, cuando se plantean los criterios o prioridades a seguir para la minimización de errores.

Éste es un criterio eminentemente subjetivo puesto que depende de la persona que lo realice. En efecto, si el estudio para la priorización de errores la realiza el analista que ha intervenido en el proceso de desarrollo, dará más importancia a aquellos defectos que impliquen a su juicio situaciones graves o peligrosas para el sistema o que afecten a órganos o elementos (materiales y de información) que sean considerados vitales o que puedan producir degeneración funcional a lo largo del tiempo, aun cuando para el profano o persona que no conozca en profundidad el sistema, tales defectos puedan carecer de importancia. Sin embargo, si la calificación de la gravedad del defecto ha de hacerla otra persona ajena al desarrollo del sistema, seguramente influirán en su decisión cuestiones de índole económica, política, social, etc., que condicionarán la fijación de la prioridad del defecto. A pesar de esto, este criterio ha de ser tenido en cuenta, pues en ocasiones pueden primar este tipo de motivos frente a los puramente técnicos o científicos, lo cual hará que la decisión final de minimización de errores o defectos del sistema se oriente hacia ellos.

En el estudio realizado se han contemplado *tres grados* de importancia en la magnitud del error (en este caso fijados por el usuario final del sistema), lo que da lugar al establecimiento de tres tipos de prioridades en el manejo de su solución. Obviamente, el establecimiento de tales prioridades está ligado a determinados tipos de elementos de información, lo cual va a condicionar el establecimiento de grados de importancia entre las mismas puesto que se hará más hincapié a la hora de las correcciones o del establecimiento de chequeos o pruebas a lo largo del proceso —especialmente sobre ellas—, a costa de desviar la atención sobre otros tipos de variables que desde el punto de vista técnico o científico pudieran ser más relevantes.

Teniendo en cuenta las prioridades apuntadas y considerando que

$$\text{Prior 1} > \text{Prior 2} > \text{Prior 3},$$

se llega a los siguientes resultados:

Prioridad asignada al Error	N.º de Errores encontrados	Porcentaje (%)
Prior 1	12	27,3
Prior 2	19	43,2
Prior 3	13	29,5
Total	44	100

Como vemos los resultados son aleatorios, y tal como hemos dicho están sujetos a los criterios utilizados por la persona que lo realiza, pero dada su importancia, y sobre todo si es el criterio impuesto al sistema que se esté analizando, puede ser utilizado como base para formular un método de optimización de errores. Es por ello por lo que, como se describe más adelante, ha sido tomado como referencia para definir uno de los métodos de optimización descritos.

- 5.º) *Por la tipología del elemento de información afectado en el error.*— De acuerdo con este criterio, y después de efectuado el análisis de la muestra de los errores, se llegó a los siguientes resultados:

Atendiendo a la Tipología del E.I. afectado por el Error

Tipología del E.I. afectado por el Error	N.º de errores	Porcentaje (%)
<i>Por su naturaleza:</i>		
Cualitativas	17	38,6
Cuantitativas	27	61,4
<i>Por su amplitud:</i>		
Individuales	24	54,6
Colectivas	20	45,4
<i>Por su nivel de abstracción:</i>		
Generales	8	18,2
Intermedias	15	34,1
Empíricas	12	27,3
Concretas	9	20,4
<i>Por las escalas de medición:</i>		
Nominal	9	20,4
Ordinal	12	27,3
Intervalo	14	31,8
Razón	9	20,5
<i>Por la posición en el proceso de investigación:</i>		
Internas (Endógenas)	32	72,7
Externas (Exógenas)	12	27,3

Después de este análisis genérico de los errores del sistema de referencia (centrada en la muestra de los 44 errores significativos), en los siguientes apartados se señalan los métodos y criterios de aplicación para el aseguramiento de la calidad en el desarrollo de otros sistemas análogos.

CRITERIOS GENERALES DE APLICACIÓN PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL SISTEMA

Como se apuntó en apartados anteriores, por cuantiosos que hayan sido los recursos empleados durante el proceso de análisis y desarrollo de un sistema, y aunque los procedimientos utilizados para realizarlo hayan estado ajustados a una metodología concreta, no puede afirmarse *a priori* que el producto o sistema obtenido esté ausente de errores, es decir, sea *perfecto* en el sentido más absoluto del término.

Esto es así, por cuanto el grado de calidad obtenido para el producto final no solamente depende del cumplimiento de las metodologías adecuadas para su desarrollo, sino que también influyen en el mismo otras circunstancias externas e internas al mismo, que hacen que necesariamente se introduzcan errores en su proceso de análisis y desarrollo.

Considerando que los errores encontrados durante las pruebas son directa consecuencia de una aplicación incompleta o defectuosa de la metodología de análisis y desarrollo empleada en el diseño del sistema tomado como modelo de referencia, puede concluirse que si en un determinado tipo de e.i. inciden con mayor abundancia los errores, ello significa que tal tipo de e.i. habría sido mal utilizado o quizás deficientemente usado, es decir, que por no haber participado suficientemente en el proceso de análisis y desarrollo ha dado lugar a un mayor número de errores en el sistema. Determinados —por medio de la tipificación de los errores encontrados—, aquellos tipos de e.i. con mayor incidencia de errores, se podrán acometer las actividades preventivas necesarias para su corrección, y sobre todo, para su prevención en futuros desarrollos.

Pero además, existen otras componentes de error que es necesario estudiar. Nos estamos refiriendo en primer lugar, al momento o fase del proceso en que el error ha sido introducido en el desarrollo del sistema, dado que como ya se indicó anteriormente, un error o defecto incorporado al sistema en fases tempranas de su desarrollo en un e.i. utilizado en ellas, va a producir por el efecto multiplicador que implica la metodología empleada, nuevos errores en e.i. de fases posteriores generados a partir de este. Es por ello, por lo que la atención en la detección de errores debe estar focalizada sobre las primeras fases del pro-

ceso, si bien las auditorías, revisiones, pruebas específicas, etc., deben ser realizadas a todo lo largo del mismo, así como a su conclusión.

Otro componente que condiciona en gran medida las acciones preventivas para la corrección de errores, es la gravedad o importancia asignada al mismo. No pueden ser tratados todos los errores con el mismo grado de atención, dado que unos pueden producir graves deficiencias en el sistema, mientras que otros pueden ser fácilmente tolerados o incluso autocorregidos por el mismo en el caso de que se produzcan.

Como *resumen* de todo lo anterior, podemos extraer como principales *conclusiones* en materia de prevenir y corregir errores en el proceso de análisis y desarrollo de nuevos sistemas complejos, las siguientes:

- Incidir en la naturaleza de los e.i. a tratar en las diferentes fases del proceso, procurando que la tipología de los mismos sea la adecuada en porcentaje de participación de cada una de ellas.
- Establecer controles de verificación tales como: revisiones, auditorías, pruebas específicas, etc., en todas y cada una de las fases del proceso de análisis, pero en especial, en las más tempranas, por el efecto multiplicador que implica el método de análisis y las consecuencias en coste que tienen a lo largo del mismo.
- Realizar una asignación de prioridades en la gravedad de los errores racional, entendiendo por tal aquella que vaya dirigida a que la importancia de los mismos sea la que tengan para el sistema en su conjunto, y no que estén orientadas por otros tipos de intereses.
- Dedicar los elementos materiales y humanos que sean necesarios para la consecución de este objetivo primordial en el proceso de desarrollo de sistemas, puesto que no basta con la aplicación de una metodología adecuada, sino que hay que asegurar el cumplimiento de la misma a lo largo de todas las fases que componen el proceso.

En base a ellas, se proponen las cuatro metodologías de optimización de errores que se apuntan a continuación.

MÉTODOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE ERRORES

Teniendo en cuenta las medidas apuntadas en el apartado anterior para el aseguramiento de la calidad en los sistemas, son varios los métodos o criterios

que pueden ser formulados para su consecución³². En el presente trabajo, han sido seleccionados aquellos que por su naturaleza, forma de ejecución o criterios utilizados, nos han parecido más adecuados a la tipología de las variables utilizadas en el sistema, y a los fines que se persiguen.

No se pretende aquí —ya que su inclusión supondría una extensión del trabajo no deseable—, realizar una descripción concreta y detallada de los *métodos de optimización de errores* que se proponen para el aseguramiento de la calidad en los sistemas complejos. La descripción detallada de los mismos, así como las *ventajas e inconvenientes* que presenta su aplicación será objeto de análisis en otros trabajos posteriores, limitándonos por tanto a apuntar los *principios* en los que se basa su aplicación, y señalando las acciones correctivas que se pretenden implantar para minimizar la generación de errores en el desarrollo de sistemas complejos. Siguiendo estos criterios, los métodos de optimización de errores que se proponen son:

1.º Método de optimización en función de la tipología de los elementos de información intervinientes en los errores

Este método de minimización de errores se sustenta en la idea de que, si un determinado tipo de e.i. (variable, dato, etc.) aparece frecuentemente en los errores detectados en el sistema (documentación recogida de los Fault Reports), puede pensarse que es debido a que su peso en el mismo (porcentaje de participación lo largo de las distintas fases del proceso de análisis), no es el correcto y debería aparecer en un número más elevado, o bien, que el tratamiento que se ha hecho de dicho e.i., no es el adecuado a la función o motivo para el que fue creado³³. En cualquier caso, el *criterio seguido* se fundamenta en que, si el porcentaje de aparición de este tipo de e.i. en los defectos del sistema es superior al porcentaje de utilización del mismo en los diferentes modelos-fase que constituyen el proceso de análisis y desarrollo completo del sistema, habría que tomar una *acción correctiva* sobre él, incrementando su participación en la medida que proceda dependiendo claro está, de la importancia de la magnitud porcentual en que aparezca en los defectos.

³² Véase, entre otros, los siguientes manuales: *Introducción a la Investigación Operativa*, de F. S. HILLIER y G. J. LIEBERMAN, Stanford University, Ed. McGraw Hill, México, 1989, en especial los capítulos 1 y 2, introductorios de la obra, y *Linear Programming in Single and Multiple Objective System*, de J. P. IGNIZIO, Pennsylvania State University, Ed. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J., 1982, en especial el capítulo 1, Introducción.

³³ Ver a este respecto el apartado 10.º de los procedimientos de trabajo para el control de la calidad del proyecto, apuntada por BARBA, E., *op. cit.*, pp. 122 y ss.

Como puede deducirse, a la vista del razonamiento anterior, ésta es una metodología de optimización de errores eminentemente práctica por cuanto se focaliza directamente en aquellos tipos de e.i. que presentan los problemas, olvidándose de otras cuestiones de carácter analítico. Es por tanto un método directo de corrección de errores, pero que, precisamente por su sencillez de manejo y por su fácil comprensión hace que su utilización pueda ser preferida frente a otros criterios para la consecución de la minimización de defectos del sistema.

2.º Método de optimización de errores en función de las pruebas a realizar en cada fase del proceso

El presente método de optimización de errores, se fundamenta en el hecho de que aquellos elementos del sistema que más problemas presenten, es decir sobre aquellos en que más incidan los errores, deben ser más intensamente probados, revisados, chequeados, auditados, etc. Este principio —que es compartido por la generalidad de los analistas de sistemas—, implica que las acciones de pruebas, revisiones, etc., que sean efectuadas para asegurar la calidad del mismo hasta los niveles exigidos, *deben focalizarse principalmente sobre aquellos elementos (materiales e inmateriales) del sistema en que la experiencia de ensayos anteriores haya determinado que incide en ellos un mayor número de errores*³⁴.

De lo anterior se desprende que esta metodología de optimización de errores está basada en el principio de tomar acciones preventivas (realizar pruebas, revisiones, chequeos, etc.), durante el proceso de desarrollo del sistema, es decir, a lo largo de las distintas fases que lo componen, y a la terminación del mismo para dar la calificación definitiva al producto final. Es por ello, por lo que, el conjunto de pruebas que el analista haya decidido realizar se repartirán a lo largo del proceso en función de dos criterios:

- a) El primero, el de tener en cuenta que los errores producidos en fase temprana se propagan a lo largo de las subsiguientes fases con efectos multiplicativos y por tanto hemos de asignar más peso a aquellos defectos que según el criterio del analista se hayan producido en las primeras fases del desarrollo; y

³⁴ Ver a este respecto las recomendaciones y acciones correctivas apuntadas por AIN en el seguimiento del AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos), *op. cit.*, pp. 57 y ss.

- b) El segundo, se refiere a la prioridad o gravedad asignada a los errores encontrados por la persona que haya hecho el análisis de los mismos, entendiendo que aquellos de mayor gravedad para el sistema deben tener un tratamiento preferente, y por consiguiente se les debe asignar un mayor peso o importancia en el uso que se haga de ellos.

En resumen, puede decirse que este método de optimización de errores centra su eficacia en la idea de que una mayor incidencia en las pruebas, revisiones, etc., sobre aquellos elementos que producen errores de mayor gravedad en las fases más tempranas del proceso de análisis y desarrollo del sistema, tenderá con su aplicación a la disminución de los mismos.

Por otro lado, es importante señalar que este método de optimización no es incompatible con el resto de los métodos que se están describiendo en este capítulo, puesto que como se ha dicho, incide únicamente en la composición de las pruebas a realizar sobre el sistema, pero no en la tipología de las variables que componen el mismo, que es la materia sobre la que inciden el resto de los métodos, por lo que puede ser considerado como compatible con estos, y es más, podría decirse que debería utilizarse *complementariamente* con alguno de ellos.

3.º Método de optimización de errores por ajuste en la tipología de los elementos de información intervinientes en el sistema

Este tercer modelo de optimización de errores que se apunta a continuación como alternativa de uso al objetivo general de minimización de errores en el sistema, está basado en el principio de que durante el proceso de análisis y desarrollo se deben utilizar aquellos tipos de e.i. (variables, datos, etc.) que den lugar al mínimo número de errores a lo largo de todas las fases que lo componen. Es decir, el razonamiento que ha sido seguido para su implementación es el siguiente:

Con los tipos de variables utilizados, a lo largo de las diferentes fases que componen el proceso de análisis (cuyos porcentajes figuran en los cuadros que recogen la tipología de las variables para los distintos modelos-fase en el capítulo anterior), se ha llegado a obtener un sistema que a través de las diferentes pruebas, revisiones, chequeos, auditorías, etc., que se han realizado sobre el mismo, ha producido un conjunto de errores que son los estudiados en párrafos anteriores. Por consiguiente, una acción preventiva que se podría utilizar para próximos desarrollos a fin de minimizar —o en su caso anular—, el número de ellos sería *incidir sobre aquellos tipos de e.i. que producen tales errores*, y por

tanto la función objetivo a optimizar estaría formada por aquellos tipos de e.i. implicados en los defectos, afectadas por el porcentaje de los errores que inciden sobre cada uno de ellos. Ello daría lugar a una *reasignación de porcentajes de participación en los tipos de e.i. que fuera óptima* desde el punto de vista de la minimización de errores.

Este planteamiento, que a primera vista parece el más adecuado, puede dar lugar sin embargo a un grave inconveniente. En efecto, puede suceder que sometido el método de programación lineal formulado a partir de estos principios, de lugar a una solución que sea óptima desde el punto de vista exclusivamente matemático, pero que sin embargo, produzca una composición en la tipología de las variables seleccionadas, que sea radicalmente distinta a la inicialmente recogida en el análisis efectuado para las diferentes fases del proceso. En tal caso, entendemos que habría de adoptarse una decisión de ajuste de porcentajes de variables que no fuese correctiva en un alto grado, es decir, que no se apartase radicalmente del estudio previamente realizado.

Tal ajuste podría consistir, por ejemplo, en modificar porcentualmente a la baja o al alza los porcentajes de participación de las variables previamente establecidas con una mayor o menor incidencia dependiendo del grado de desviación que se observe después de la aplicación del método, en forma similar a como se hizo en el primer modelo de optimización de errores descrito en el presente epígrafe, o bien realizar cualquier otro tipo de ajuste que a criterio del analista —derivado de su experiencia en este tipo de sistemas—, sea más aconsejable.

4.º Método de optimización de errores utilizando los modelos de programación lineal por objetivos (modelos de decisión multicriterio)

Algunos de los métodos de optimización de errores descritos anteriormente están basados en la metodología de programación lineal, considerando que actualmente este es uno de los criterios de frecuente aplicación cuando se persigue la búsqueda del óptimo de funciones, tanto por la flexibilidad que permite en la formulación de objetivos —ya que puede emplearse en multitud de problemas de distintos ámbitos y características muy diversas—, como por los métodos desarrollados para su resolución (el método del simplex es el más conocido), que hacen que su aplicación no sea excesivamente compleja y por tanto de reducido coste su utilización, pudiendo incluso emplearse en determinados casos procedimientos de cálculo automático a través de ordenador.

Sin embargo, dichos métodos, pese a la simplicidad en su formulación y manejo que les hacen atractivos para su empleo, adolecen del inconveniente de que únicamente es tenida en cuenta para la formulación de la función objetivo a optimizar un solo criterio, ya que en uno de ellos la atención se centra en minimizar el número de errores totales a través de intensificar las pruebas sobre aquellas variables que más incidencia de defectos producen en el sistema, y en otro de los casos, focaliza su atención en minimizar el número de errores totales por medio de la utilización de una determinada composición de los tipos de variables que forman el mismo en sus diferentes fases de análisis. Pero en ambos casos a la hora de establecer los criterios para definir la función objetivo no se han tenido suficientemente en cuenta cuestiones relevantes tales como el momento en que se producen los errores (en qué fase del proceso de análisis), o la gravedad o importancia de los mismos (medida por la prioridad establecida por el analista o usuario del sistema), o en otros casos causas específicas que produzcan determinados errores, etc; y si se han tenido en cuenta ha sido de forma unitaria y separada pero no conjuntamente.

En los últimos tiempos las técnicas de optimización se han desarrollado de forma importante, dándose entrada a las denominadas «*metodologías de optimización multicriterio*», también conocidas como «*programación lineal por objetivos múltiples*», que por su importancia y actual relevancia nos parece que pueden ser de aplicación al presente trabajo³⁵.

En efecto, los «*modelos de optimización multicriterio*» recogen una metodología de reciente aparición que se caracteriza por perseguir la eficiencia global en el manejo de variables decisionales, y su desarrollo forma parte de la Teoría General de la Decisión y del Análisis de Sistemas. Según E. Ballestero³⁶, «los modelos multicriterio son más flexibles que los unicriterio y se pliegan con más fidelidad a la demanda y a la práctica diaria de las empresas, o de los analistas que trabajan en estos ámbitos», lo que marca una decidida defensa a la aplicación de estos métodos en la resolución de los problemas de toma de deci-

³⁵ Ver, para la justificación y empleo de estos criterios de optimización, los siguientes trabajos: E. BALLESTERO y D. COHEN: «Metodología multicriterio en las decisiones empresariales», *Revista de Dirección y Organización de Empresas*, Universidad Politécnica de Madrid, CEPAD-DE, enero de 1998; E. BALLESTER y C. ROMERO: «Economic Optimization by Compromise Programming», *Journal of Multimedia Decision Analysis*, febrero de 1993. A. CHARNES y W. COOPER: «Global Programming and Multiple Objective Optimization», *European Journal of Operation Research*, enero de 1977; G. COLSON y M. ZELENY: «Multicriterion Concept of risk under incomplete information», *Computers and Operation Research*, julio de 1980, y *Multicriteria Decision Making. Concepts, Techniques and Extensio*, Nueva York, 1985.

³⁶ *Op. cit.*, p. 46.

sión cuando los objetivos a satisfacer son varios.

Una vez justificada su utilización, vamos a ocuparnos del modo en como se lleva a cabo su realización. En el caso de la «programación por objetivos múltiples», el objetivo único que caracteriza la programación lineal se sustituye por varios objetivos *que tratan de alcanzarse simultáneamente*, estableciendo en el caso de que se estime oportuno las correspondientes *prioridades* entre ellos, pero tratando de alcanzar la consecución de todos, en la medida que lo permita el sistema al que se aplique esta metodología³⁷.

La idea básica utilizada en la resolución de estos modelos es establecer una meta numérica específica para cada uno de los objetivos y formular una función objetivo para cada uno de ellos, después se buscará una solución que minimice la suma ponderada de las desviaciones de estas funciones objetivos *versus* sus metas respectivas. La formulación del modelo puede hacerse de dos formas distintas: «*programación por objetivos sin prioridades*» en la que todos los objetivos a conseguir se les considera de la misma importancia, y la «*programación por objetivos con prioridades*» en la que existe o se establece, una jerarquía de niveles de prioridad para los distintos objetivos a conseguir.

CONCLUSIÓN

El presente trabajo se enmarca dentro del método de estudio que viene denominándose como *enfoque sistémico* para el análisis y tratamiento de problemas complejos. Tal enfoque —profusamente utilizado en las últimas décadas—, presenta a mi juicio las siguientes *ventajas*: de un lado facilita en análisis de los problemas de una forma global, es decir teniendo en cuenta las múltiples perspectivas que presentan algunos problemas en el mundo real, ya que considera no sólo las variables internas que explican el comportamiento de un sistema dado, sino también las variables externas o exógenas que con su aparición pueden incidir en el mismo modificando o alterando sus funciones; y de otro lado, porque permite su aplicación a campos de conocimiento muy diversos, por lo cual, los conocimientos o experiencias adquiridos en un determinado ámbito pueden ser trasladados a otros, facilitando así su estudio y tratamiento. Es por ello, por lo que actualmente se está empleando tal enfoque para el estudio de

³⁷ Para mayor detalle sobre la aplicación de esta metodología, puede consultarse el capítulo 8 de la obra *Investigación de Operaciones*, cuyos autores son F. S. HILLIER y G. J. LIEBERMAN, Ed. McGraw Hill, México, 1990. Ver también, para este tema, *Linear Programming in Single and Multiple Objective System*, de J. P. IGNEZIO, Ed. Prentice Hall International Series, Londres, 1982.

problemas complejos en campos tan diversos como: la biología, la física, la informática, el comportamiento social y económico, en ámbitos empresariales y políticos, etc.

Debido a que el campo de aplicación para el enfoque sistémico es tan amplio, el presente trabajo está centrado en el *aseguramiento de la calidad en el desarrollo de sistemas complejos*, es decir, establecer algunos criterios y metodologías a seguir para llegar a obtener un sistema que cumpla con un conjunto de funciones o requisitos previamente definidos, con la mayor eficacia posible —y por tanto carente de errores—, de forma que pueda cumplir fielmente los objetivos que le fueron marcados.

Como se indicó anteriormente, son muchos los procedimientos o métodos que como medidas correctivas o preventivas pueden implantarse para corregir o prevenir los errores que son cometidos a lo largo del análisis y desarrollo de un sistema complejo, así como prevenir los que puedan producirse en su funcionamiento a lo largo de su ciclo de vida. Tales medidas pueden ir enfocadas hacia distintos aspectos tales como: realización periódica de chequeos, empleo de determinadas herramientas de pruebas, mayor y mejor participación de medios materiales y humanos, etc.

La metodología en que se basa este trabajo está centrada en las características (naturaleza y tipología) de los elementos de información que forman parte del sistema, es decir, aquellos que son usados a lo largo del desarrollo del mismo, y los que estarán contenidos en el sistema a su conclusión, de forma que contenga los elementos materiales e inmateriales necesarios y suficientes para el cumplimiento de los fines para los que fue creado.

Con este objetivo, y después de justificar la necesidad que tienen todos los productos, y en particular los sistemas creados para el cumplimiento de servicios públicos o privados, de alcanzar unos niveles mínimos de calidad que le son impuestos por la sociedad, se proponen cuatro métodos de optimización de errores, que estando todos ellos centrados en las características de los e.i. constituyentes del sistema, cada uno se centra en aspectos específicos tales como: tipología que han de tener los e.i. manejados por el sistema, importancia o gravedad del error producido, momento o fase del desarrollo en que fue introducido el error en el sistema, etc. Cada uno de los métodos apuntados presenta ventajas e inconvenientes en su utilización, pudiendo emplearse incluso varios de ellos simultáneamente, puesto que no son excluyentes.

Dado que la explicación detallada de la aplicación de estos métodos así como los algoritmos que utiliza para su implementación en pruebas de verificación de un sistema concreto, tendría una extensión que supera ampliamente el contenido de este trabajo se ha considerado tratarlo en profundidad en trabajos posteriores.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRAMSON, N.: *Teoría de la Información y Codificación*. Paraninfo, S.A., Madrid, 1986.
- ARACIL, J.: *Máquinas, Sistemas y Modelos: Un ensayo sobre Sistémica*, Alianza Editorial. Madrid, 1986.
- ARACIL, J., y GORDILLO, F.: *Dinámica de Sistemas*, Ed. Alianza Universidad, Madrid, 1997.
- BALLESTERO, E, y COHEN, C.: *Metodología Multicriterio en las decisiones empresariales*, Revista de Organización y Dirección de Empresas, CEPADE, Madrid, enero 1998.
- BARBA, E.: *La excelencia en el proceso de desarrollo de nuevos productos*, Ed. EADA Gestión, Barcelona, 1993.
- BERRY, J. L.; BENNET, D., y BROWN, C. W.: *Calidad de servicio: Una estrategia para Instituciones Financieras*, Ed. Díaz de Santos, S.A., Madrid, 1989.
- BERTALANFFY, LUDWIG VON: *Teoría General de los Sistemas*, Ed. Fondo de Cultura Económica. Madrid, 1993.
- BIJKER, W. E., y HUGHES, T. P.: *The Social Construction of Technological Systems*, Ed. MIT Press, Cambridge, 1987.
- BUCKLEY, W.: *La Sociología y la Teoría moderna de los Sistemas*, Amorrortu Editores, Buenos Aires, 1983.
- CARBALLO, R.: *Sobre la Calidad y el proyecto de empresa*, Capital Humano, n.º 63. Madrid, 1994.
- CÁRDENAS, M. A.: *El enfoque de Sistemas: Estrategias para su implementación*, Ed. Limusa, México, 1978.
- CELA TRULLOCK, J. L.: *Calidad: qué es, como hacerla*, Ed. Gestión 2000, Madrid, 1996.
- CIAMPA, D., y MORENO, M.: *Calidad Total. Guía para su implantación*, Ed. Addison-Wesley, Delaware (USA), 1993.
- DEMING, A.: *Quality, Productivity and Competitive Position*, Ed. M.I.T., USA, 1982.
- GARCÍA GUERRA, A.: *Sistemas Digitales*, Ed. Cera, S.A., Madrid, 1998.
- GARVIN, D. A.: *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*, Ed. Free Press, N.Y., 1988.
- GUTIÉRREZ, M.: *Administrar la Calidad: Conceptos administrativos del control de la Calidad Total*, Ed. Limusa, México, 1992.
- IGNIZIO, JAMES P.: *Linear Programming in Single and Multiple Objective System*, Prentice Hall International Series, Londres, 1982.
- IRACHIETA, J. M.; PRIDA, B., y ABARCA, C.: *Metodología práctica para el diseño e implantación de Sistemas de calidad según las Normas ISO-9000*, Dirección y Organización de Empresas (UPM) - CEPADE, enero 2000.
- ISHIKAWA, K.: *What's Total Quality Control. The Japanese way*, Prentice Hall International Series. N.Y, 1985.
- ISHIKAWA, K.: *Introducción al control de la Calidad*, Ed. Díaz de Santos, S.A., Madrid, 1994.

- JAMES, P.: *Gestión de la Calidad Total*, Prentice Hall, Madrid, 1997.
- JURAN, J. M.: *Quality Control Handbook*, McGraw Hill, N.Y, 1974.
- JURAN, J. M.: *Juran y el liderazgo para la Calidad*, Ed. Díaz de Santos, S.A., Madrid, 1990.
- JURAN, J. M.: *Juran y la Planificación de la Calidad*, Ed. Díaz de Santos, S.A., Madrid, 1990.
- JURAN, J. M.: *Quality Planing and Analisisys*, McGraw Hill, N.Y, 1993.
- JURAN, J. M., y GRZYNA, F. M.: *Manual de Control de Calidad*, McGraw Hill, Madrid, 1988.
- KLIR, GEORGE J.: *Teoría General de Sistemas. Un enfoque metodológico*, Ed. I.C.E., Madrid, 1981.
- LLORENS MONTES, F. J.: *Medición de la calidad de servicio: Una aproximación a diferentes alternativas*, Universidad de Granada (CEE), Granada, 1996.
- LLORENS MONTES, F. J., y FUENTES FUENTES, M.: *Calidad Total: Fundamentos e Implantación*, Ed. Pirámide, Madrid, 1999.
- MARTÍNEZ, S., y REQUENA, A.: *Dinámica de Sistemas: Simulación por Ordenador y Modelos*, Alianza Editorial, Madrid, 1986.
- PÉREZ-FERNÁNDEZ DE VELASCO, J. A.: *Gestión de la Calidad orientada a los Procesos*, Ed. ESIC, Madrid, 1999.
- ROUBE, J.; MOÑINO, M., y RODRÍGUEZ, M.: *La Gestión por Procesos*, Ed. Folio, Barcelona, 1997.
- SCHOMBERGER, R. J.: *Hacia la excelencia en la fabricación*, Ed. CDN, Espasa Calpe, Madrid, 1991.
- SIERRA BRAVO, R.: *Técnicas de Investigación Social*, Paraninfo, S.A., Madrid, 1992.
- TRISCHLER, W.: *Mejora del valor añadido en los Procesos*, Ed. Gestión 2000, Barcelona, 1998.
- VANDEVILLE, P.: *Gestión y Control de la Calidad*, Ed. AENOR, Madrid, 1990.
- VANDEVILLE, P., y GAMBIER, C.: *La auditoría de la Calidad: Metodología y Técnicas*, Ed. AENOR, Madrid, 1998.
- VELASCO SÁNCHEZ, J., y CAMPINS MASRIERA, J. A.: *Gestión de la Calidad (I y II)*, Ed. Pirámide, Madrid, 1998.
- WESLEY ALLEN, C.: *Simultaneous Engineering: Integrating, Manufacturing and Design*, S.M.E., Michigan, septiembre 1990.
- WEST CHURCHMAN: *El enfoque de Sistemas*, Ed. Diana, México, 1976.
- WHITNEY, D. E.: *La Interpretación del Diseño en la Fabricación*, Harvard-Deusto Business Review, junio 1989.
- ZEITHAML, V. A.: *Calidad total en la Gestión de Servicios*, Ed. Díaz de Santos, S.A., Madrid, 1993.