

Estudios de Economía Aplicada
Nº 14, 2000. Págs. 5-36

Detección de las debilidades de un Sistema de Control Interno en Auditoría. Algoritmos matemáticos

ANDÚJAR RODRÍGUEZ, A.S.

Departamento de Estadística y Matemática Aplicada

GARCÍA PÉREZ, J.¹

Departamento Economía Aplicada

CRUZ RAMBAUD, S.

Departamento de Dirección y Gestión de Empresas

Universidad de Almería

Los autores agradecen las sugerencias y correcciones remitidas por los evaluadores.

RESUMEN

Este artículo presenta un método de detección y evaluación de las debilidades de un sistema de control interno. Para ello, se establece una relación entre dicho sistema, los diagramas de flujo especificados en las diferentes normativas y la teoría de grafos, que nos va a permitir, usando la teoría de fiabilidad, determinar a partir de las fiabilidades individuales de los distintos procedimientos que componen el sistema, cuáles son estas debilidades, de qué tipo de debilidad se trata y posibles soluciones aplicables. Todo ello se ejemplifica mediante un caso práctico: el ciclo de ventas de una empresa.

Palabras clave: Control Interno, Fiabilidad, Debilidades, Grafo, Sistema, Auditoría.

ABSTRACT

This paper provides a method of detection and evaluation of the weaknesses of an internal control system. For that purpose, a relationship is established among this system, the flow charts specified in the different statements and the Graph Theory, which allows us, using the Reliability Theory, to determine

1 Miembro 15.183 del R.O.A.C.

from the individual reliabilities of the different procedures which compose the system, which these weaknesses are, what kind of weakness we are dealing with and possible solutions. All this is illustrated with a practical case: The cycle of sales of a firm.

Key words: Internal Control, Reliability, Weaknesses, Graph, System, Auditing.

Artículo recibido en 4 de octubre de 1998. Revisado en 10 de octubre de 1999.

1. Introducción

Con fecha 1 de septiembre de 1994, el Instituto de Contabilidad y Auditoría de Cuentas -I.C.A.C.-, en el apartado 6º de la misma, añade una nueva norma técnica referente a las debilidades del Sistema de Control Interno² de la empresa que coincide con lo señalado en el párrafo 2.4.23 de las Normas Técnicas de Auditoría³ y en el párrafo 7, resalta la obligación que el auditor tiene de comunicar las debilidades significativas encontradas en el SCI en el curso de su trabajo.

Anteriormente, fuera de nuestras fronteras, ya en 1972, el American Institute of Certified Public Accountants -A.I.C.P.A.-, en sus *Statements on Auditing Procedures*, nº 52 (p.252), establece el concepto de debilidad del SCI como sigue:

"Tipos de errores potenciales e irregularidades no cubiertas por los procedimientos de control existentes".

Por otra parte, sabemos que en la resolución de 19 de enero de 1991 del Presidente del I.C.A.C., en la que se publican las NTA, se recoge, en su apartado 2.4, el estudio y evaluación del SCI y, concretamente en el apartado 2.4.21, se hace referencia a que la evaluación del SCI se debe realizar principalmente mediante cuestionarios, resúmenes de procedimientos, flujogramas e instrucciones. En este sentido insisten los manuales del R.E.A., R.E.G.A., I.A.C.J.C.E. y, en general, los manuales de Álvarez [1989: Cap. 6], Arens & Loebbecke [1995: Cap. 9], Casals *et al.* [1989: Cap. 5], Coopers & Lybrand [1993: 18-79], Dussaulx [1972: Cap. 4], Gironella [1976: Cap. 6], Madariaga y Kirkby [1986: Cap. 2], Millán [1987: 189-242], Pereda [1995: Cap. 11], Porter [1980: Cap. 7], Rocafort [1985: Cap. 5], Sánchez [1996: Cap. 8], Serrano [1994: Cap. 5], Suárez [1990: 25-33], Urías [1987: 95-168], Urías [1990: 31-42], que coinciden en prescribir el uso de pruebas de cumplimiento, cuestionarios y flujogramas como técnicas a utilizar en la evaluación del SCI. Luego, en principio, parece lógico que sean estas técnicas las que nos proporcionen los medios para identificar una debilidad.

Para que el auditor pueda cumplir fielmente las Normas de Auditoría, se encuentra con la dificultad de llevar a cabo en toda su extensión la norma precedente, pues

2 En adelante se denotará con las siglas SCI.

3 En adelante se denotarán con las siglas NTA.

pueden aparecer problemas como los siguientes: ¿cómo identificar las debilidades?; ¿se han detectado todas?; ¿las debilidades actuales son transitorias o persistentes? Evidentemente, la dificultad reside en establecer un método lo más objetivo posible que permita al auditor identificar una debilidad en un SCI.

El propósito de este trabajo es desarrollar un método analítico que nos permita emitir formalmente un informe sobre las debilidades encontradas en el SCI de la empresa. Para ello supondremos que el auditor ya ha fijado la materialidad y tiene realizado su estudio de las conexiones lógicas entre distintos procedimientos de control u operativos que la empresa tiene establecidos (en el manual de procedimientos, en su caso), su adecuación, su fiabilidad individual así como todo lo dirigido a expresar la estructura del SCI de la misma mediante una representación, en primer lugar, en forma de flujograma para, a partir de éste, obtener un modelo matemático denominado grafo dirigido.

Esta última representación nos permitirá cuantificar la fiabilidad global del SCI a partir de las fiabilidades individuales de los procedimientos que compongan el mismo.

En Andújar *et al.* [1997b: 69-78], continuando en la línea marcada por Baber [1985: 360-369], Bodnar [1975: 747-757], Cooley & Cooley [1983: 211-231], Cushing [1974: 22-41], Grimlund [1982: 316-342], Srinidi & Vasarhelyi [1986: 64-76], Srivastava [1986: 422-426], entre otros, se establece un método cuantitativo para evaluar la confianza que el auditor puede depositar en el SCI, cuyo fundamento matemático es la teoría de Fiabilidad de Sistemas. Siguiendo esta línea, especialmente el modelo de Cushing, Andújar *et al.* [1996] apuntan un procedimiento para detectar y corregir las debilidades de un SCI, a partir del conjunto de cortes mínimos del grafo asociado al flujograma del ciclo económico que se esté examinando. Este trabajo pretende avanzar en este camino, aportando algoritmos tanto de enumeración de caminos mínimos, como de detección de cortes mínimos a partir de aquellos. Una vez obtenidos los cortes mínimos, pueden identificarse las debilidades del SCI, así como, proponer soluciones para su corrección.

Ésta es una técnica similar al análisis del control interno basado en el flujo de transacciones al que se refiere el manual práctico del control interno del Registro de Economistas Auditores -R.E.A- [1994], identificando como ciclos básicos de la actividad los siguientes:

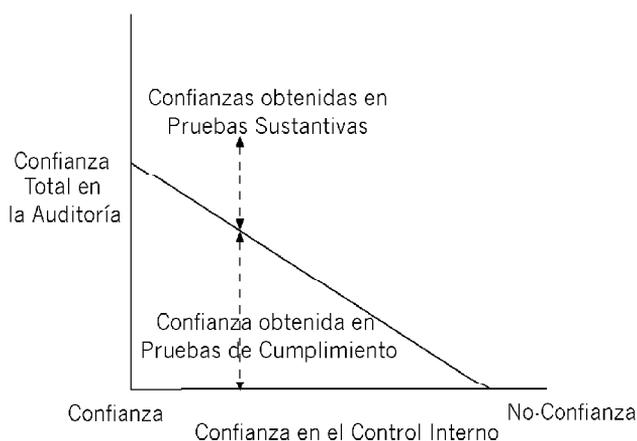
- a) El flujo de autoridad y control,
- b) El flujo de efectivo y de movimiento de mercancías y servicios,
- c) El flujo de hechos económicos y de información contable,

con la particularidad de que se transforman los flujogramas de cada uno de estos ciclos en grafos orientados, también llamados digrafos.

Como fase inicial de una auditoría es preceptivo un estudio y evaluación de los procedimientos de control interno vigentes en la corporación auditada. Dichos pro-

cedimientos no se encuentran aislados sino sometidos a una interrelación que confirma una estructura lógica de control interno, que por tanto se ha denominado Sistema⁴.

Existen numerosas referencias en las NTA respecto a la necesidad de evaluar la confianza en el SCI, como paso previo para determinar, en base a los resultados obtenidos, el número y tipo de pruebas sustantivas que se deben realizar para, en conjunto, emitir el informe de auditoría.



Fuente: Manual "Reliance on Internal Control", del CICA (Instituto de Auditoría Canadiense), 1994.

Figura 1.

Como puede observarse en la figura 1, a medida que aumenta la confianza obtenida en el SCI, disminuye la confianza que es necesario obtener en las pruebas sustantivas, situación que viene a coincidir con el esquema, más simple, presentado en Pereda [1995: Cap. 11]:

Control Interno	Cuentas Anuales	Pruebas Sustantivas
Más Eficaz	Más Fiables	Menos Pruebas
Menos Eficaz	Menos Fiables	Más Pruebas

A pesar de la importancia de esta evaluación en el conjunto de la Auditoría, en la literatura en castellano se conocen pocos intentos cuantitativos de obtener una me-

4 En Almela [1987] ya se utiliza el término "Sistema" al referirse al Control Interno.

dida de la fiabilidad del SCI. De hecho, La única técnica o procedimiento para evaluar cuantitativamente la confianza del SCI que conocemos en los manuales más usados en España es la referida en Sánchez Fernández [1996, pág. 185], conocida como método de Bande y Lupi, que no deja de ser una ponderación simple de las respuestas a los cuestionarios. Tampoco en los manuales en castellano dedicados específicamente al control interno, se han encontrado métodos cuantitativos para evaluar su confianza (véanse Schuster [1992], Poch [1987], Poch [1992], Almela [1987] y el Manual Práctico del R.E.A. [1994]).

Como se ha indicado anteriormente, la norma técnica de auditoría sobre la obligación de comunicar las debilidades significativas del control interno, establece la obligación de emitir un informe sobre las debilidades detectadas en el SCI, pero no se indica un método sistemático para detectarlas y corregirlas. El resto de este artículo va orientado en este sentido, es decir, intenta proporcionar un método de detección de las debilidades significativas del SCI, para lo cual nos hemos apoyado en los trabajos mencionados al principio de esta introducción, entre los que se encuentran algunas aportaciones propias. De este modo, el mismo proceso que se sigue en Andújar et al. [1997b], para determinar la fiabilidad del SCI puede ser usado para encontrar sus debilidades.

Pese a la disparidad de opiniones acerca del alcance del término control interno, en lo que afecta al auditor externo, actualmente se acepta que éste tiene responsabilidad hacia la empresa contratante en lo referente a los procedimientos de control interno financiero. Podemos leer en R.E.A. [1994, pág. 5] lo siguiente:

"La división del control interno en controles contables y controles administrativos ha sido determinada con el propósito de clarificar el alcance del estudio y evaluación del sistema de control interno.

Es obvio que el auditor independiente debe centrar su trabajo en los controles contables por las repercusiones que éstos tienen en la preparación de la información financiera y, por consiguiente, a los efectos de las normas técnicas, el control interno se entiende circunscrito a los controles contables".

Por tanto, ateniéndonos a este criterio hemos de hacer notar que, aunque desde tiempo atrás se constataba la necesidad de disponer de criterios para determinar la confianza que el auditor puede depositar en el SCI, hubo que esperar hasta la década de los 70, para que surgiesen los primeros modelos para intentar una cuantificación de la misma.

Así pues, Yu & Neter [1973] presentan un modelo para determinar fiabilidades de procedimientos del sistema de control interno, aunque no proporcionan un método global para un sistema general. Además, presentan la conocida fórmula desarrollada por el A.I.C.P.A. para el nivel de confianza a conseguir en los tests sustantivos, a

partir del nivel de confianza combinado que se desea y de la fiabilidad obtenida para el SCI. Además, es el propio A.I.C.P.A. [1973, p 39] el que propone, como un paso más del proceso de auditoría, la obtención de la fiabilidad del SCI.

Cushing [1974] pone las bases para trasladar los conocimientos de la teoría de Fiabilidad, más concretamente de Fiabilidad de Sistemas, al campo de la Auditoría en su apartado de evaluación del SCI, tratándolo como un modelo Serie-Paralelo. Es una primera aproximación y, el propio autor plantea algunas limitaciones al modelo. Por ejemplo, que esta teoría nace en el campo de la Ingeniería, pero ello no es obstáculo pues su desarrollo teórico posterior no se ha hecho basándose en sistemas físicos sino en sistemas lógicos abstractos, siendo apoyos fundamentales para la misma: la Estadística y Probabilidad, la Lógica Matemática, la Matemática Discreta en los campos de Combinatoria y Grafos, etc..

Queremos hacer notar que aunque en su nacimiento la teoría de Fiabilidad tuvo una finalidad inmediata, la abstracción posterior permite su aplicación en muy diversos ámbitos científicos.

Otra de las objeciones al modelo es su "dudosa" aplicabilidad al caso en que diversos componentes del sistema sean elementos "humanos". La fiabilidad de los factores humanos es tratada por Bodnar [1975] y, haciendo referencia precisamente al modelo de Cushing, expone que no es equivalente el comportamiento humano y el de un componente físico, aunque también indica que la mayor complejidad del primero no obliga a descartar la posibilidad de cálculo de la fiabilidad humana, indicando diversas fuentes bibliográficas en donde se trata este tema, como Meister [1964], Irwin *et al.* [1964], etc...

Por otra parte, Cushing supone independencia entre los procedimientos de control, lo cual está completamente de acuerdo con la norma de *segregación de tareas* en el SCI, por lo que en el diseño del mismo deben tomarse todas las precauciones posibles para eliminar o descartar casi completamente la colusión. Según Bodnar, *op. cit.*:

«La validez de la suposición de independencia debe protegerse por "un conjunto de procedimientos programáticos cuidadosamente diseñados"».

Posteriormente, Grimlund [1982] consolida y extiende los modelos de Yu y Neter y de Cushing permitiendo el uso de funciones de densidad de probabilidad continuas para representar la incertidumbre del auditor respecto a las tasas de error. Srivastava [1986], siguiendo en esta línea de investigación, mejora el modelo de Grimlund, en el sentido de permitir interdependencias en algunos casos.

Asimismo, Cooley & Cooley [1982] exponen que, generalmente, el tamaño del SCI hace inviable el uso directo del modelo de Cushing, por lo que presentan un modelo similar al de Cushing, basado en la separación del SCI en subsistemas, en cada uno de los cuales aplican el método de Cushing.

La línea marcada por Cushing no pudo tener en su época el apoyo de los medios informáticos con que se cuenta en la actualidad. Quizá por ello, toda esta investigación no se generalizó en la práctica, y sea ahora el momento de retomarla cuando la Informática se ha convertido en un soporte de la gestión empresarial y su uso está ampliamente difundido. En este sentido, este trabajo pretende establecer las bases para el desarrollo de una aplicación informática que actualmente se encuentra en vías de elaboración.

A todo esto presentamos en este trabajo las contribuciones básicas siguientes:

- 1ª) Considerar la posibilidad de que el diagrama de flujo siga modelos diferentes a los modelos serie-paralelo utilizados por los precursores.
- 2ª) Se establecen mecanismos para asignar probabilidades de fallo a cada uno de los procesos que componen el flujograma.
- 3ª) Se establece una relación entre el concepto matemático de corte mínimo de un grafo y el concepto, en el ámbito de la auditoría, de debilidad.
- 4ª) Se obtiene un valor para la fiabilidad del grafo asociado al flujograma, que puede ser considerada como la confianza a depositar en el SCI.

Respecto a la distribución del trabajo, éste ha sido estructurado en cinco secciones. En la primera sección se presenta el problema del informe de las debilidades del sistema de control interno, inmerso en la determinación de la fiabilidad del mismo y se revisa la literatura directamente relacionada con la investigación acerca de métodos para la evaluación de la confianza en el SCI. Asimismo se reseñan las aportaciones propias a los modelos planteados.

En la segunda sección, se dan en primer lugar, algunas definiciones y se presentan conceptos relativos a Grafos y Fiabilidad de Grafos y Sistemas. No pretendemos ser exhaustivos, por lo que solo se trata lo imprescindible para poder seguir el planteamiento de las secciones posteriores. No obstante, se dan reseñas bibliográficas para el lector que desee profundizar más sobre estas teorías. Al final de esta sección, como innovación respecto a otros estudios más abstractos de teoría de grafos, dirigidos a buscar los caminos mínimos de grafos dirigidos, presentamos el algoritmo de obtención de caminos mínimos para digrafos con varias entradas; esto nos va a permitir estudiar el caso en que hay varias alternativas en las entradas de información al sistema lo cual es frecuente en el campo económico.

En la tercera sección, planteamos la estructura lógica de un SCI modelado mediante un grafo dirigido, obtenido a partir del flujograma que el auditor prepara para realizar su trabajo. Se relacionan los conceptos matemáticos de nodo, arco, camino y corte con los económicos de procedimientos de control interno y debilidades del SCI. Se añade como aportaciones respecto a modelos previos, el plantear la posibilidad de que el SCI no se trate exclusivamente mediante modelos Serie-Paralelo.

La cuarta sección está dedicada a presentar un caso práctico donde se expone el ciclo de venta y facturación de una empresa real, así como su traslado a digrafo. Se

aplican los contenidos de secciones precedentes, obteniendo caminos mínimos, cortes mínimos a partir de éstos, y las no-fiabilidades de los cortes que hacen que no se alcance el nivel de confianza prefijado con antelación.

De esta forma, se obtienen las debilidades del SCI que se han clasificado en dos tipos, se esboza el informe de las mismas que debería incluir el auditor como parte de su estudio del SCI y, aunque no es obligatorio según las NTA, se hacen recomendaciones para intentar eliminar dichas debilidades.

Tras la quinta sección dedicada a las conclusiones, presentamos finalmente dos anexos. El primero de ellos versa sobre la aplicación del algoritmo de obtención de caminos mínimos al caso práctico de la cuarta sección, obteniendo todos los caminos y cortes mínimos. El segundo anexo trata acerca de un método para asignar fiabilidades a los procedimientos de control del SCI.

2. Notas sobre grafos y fiabilidad de grafos

A fin de hacer más comprensivo el resto del artículo, presentamos brevemente en este epígrafe, algunos conceptos básicos acerca de grafos y, especialmente, de fiabilidad de grafos, que se usará como herramienta matemática en el estudio posterior de las debilidades de un SCI. El lector que desee profundizar en la teoría de Grafos puede consultar las obras de Townsend [1986], Ribnikov [1988] o Foulds [1994].

Un grafo dirigido G o **digrafo** consiste en un conjunto finito, V , de **nodos**, y un conjunto de **arcos** orientados, $E \subset V \times V$ donde supondremos que $V \neq \emptyset$.

Se denotará mediante $G = \langle V, E \rangle$. Los arcos se denotarán encerrando entre paréntesis los dos nodos que los determinan, es decir, si hay un arco del nodo u al nodo v , se indicará (u, v) . Se dice que u es el nodo **origen** y que v es el nodo **destino**.

Si los arcos no se consideran orientados, es decir, no se distingue entre nodo origen y nodo destino, el conjunto $G = \langle V, E \rangle$ se denomina simplemente **grafo**.

Consideraremos en este trabajo dos tipos de digrafos:

1. Con un sólo nodo de partida, llamado nodo fuente o **input**, y un sólo nodo final denominado sumidero u **output**, modelo de digrafo que se denomina red o **network** en la literatura especializada. En este caso, los nodos input y output del digrafo los representamos con los símbolos **I** y **O**, respectivamente.

2. Con varios nodos de partida -inputs-, que representamos I_1, I_2, \dots, I_p , si p es el número de ellos, y uno final -output-, que se representa con la letra O .

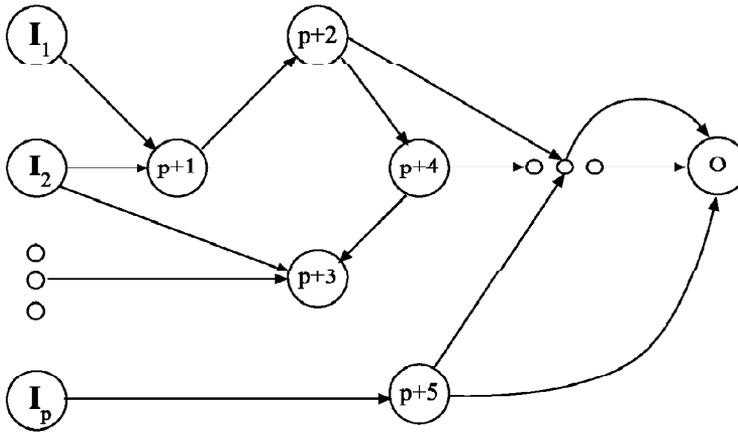


Figura 2. Digrafo con varios inputs

En cualquier caso, en los epígrafes siguientes consideraremos al digrafo como una representación de un sistema, por lo que se hablará indistintamente de digrafo o sistema. La representación de los sistemas mediante digrafos es de gran utilidad. En la figura 2, hemos representado esquemáticamente el tipo de digrafo con varios inputs, donde los círculos etiquetados mediante $\{p+1, p+2, \dots\}$ representan los nodos intermedios.

Muchas de las técnicas algorítmicas destinadas a trabajar con grandes sistemas se basan en la localización de los caminos mínimos (*path sets*), o de los conjuntos de corte mínimos (*cut sets*) de su grafo asociado. Damos, a continuación las definiciones más imprescindibles para seguir la línea argumental del presente trabajo.

Sea $G = \langle V, E \rangle$ un digrafo, cuyos conjuntos de nodos y arcos se encuentran etiquetados de la forma siguiente:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} \text{ y } E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}.$$

Cuando sea necesario se hará referencia expresa a los nodos extremos de los arcos, indicándolos entre paréntesis: $e_i = (v_j, v_k)$, donde el primer nodo es el origen del arco y el segundo, el final del arco.

Se va a considerar también que el arco puede estar operativo o no, en el sentido de que la conexión que el arco establece entre dos nodos pueda fallar. De este modo, asociado a cada arco añadimos su **fiabilidad** o probabilidad de que éste se encuentre operativo. También se habla de su no-fiabilidad o probabilidad de que se encuentre en estado de fallo.

Un **camino** entre dos nodos, en el digrafo, es cualquier sucesión de nodos y arcos de la forma:

$$T = \langle v_{i_1}, e_{j_1}, v_{i_2}, e_{j_2}, v_{i_3}, e_{j_3}, v_{i_4}, \dots, e_{j_{r-1}}, v_{i_r} \rangle$$

que no repite nodos salvo, quizás, el primero y último⁵, y donde cada arco viene dado por $e_{j_k} = (v_{i_k}, v_{i_{k+1}})$, $1 \leq k \leq r - 1$. También se le denomina (v_{i_1}, v_{i_r}) -camino, haciendo alusión expresa a los nodos inicial y final del camino.

En el resto del trabajo, cuando nos refiramos a caminos completos, es decir, que unan inputs con outputs, que será lo usual, los llamaremos simplemente **caminos**.

Un grafo se dice **conexo** si hay un camino entre cualesquiera dos nodos del mismo, con todos los arcos que lo componen en situación de operatividad.

Un **corte** es el concepto dual del anterior, es decir, se trata de un conjunto de arcos cuyo fallo provoca el fallo del sistema. Se dice **mínimo** en el sentido de que si cualquiera de los arcos que intervienen en el corte vuelve a estar operativo, entonces el sistema global vuelve a funcionar. En este caso, dado que consideraremos que el digrafo es conexo, podemos decir que un corte mínimo de un digrafo es un conjunto de arcos cuya eliminación -o estado de fallo-, conlleva a que el grafo se haga inco-nexo.

Una vez obtenidos los caminos y/o cortes mínimos, se obtiene la **fiabilidad del sistema** como la probabilidad de que al menos un camino mínimo esté operativo, o bien la **no-fiabilidad** como la probabilidad de que al menos un corte mínimo haya ocurrido.

A partir de los caminos mínimos es posible obtener los cortes mínimos. En efecto, eliminando un arco de cada camino, hasta que desconecte alguno de los nodos input del nodo output, se tiene un corte mínimo.

Dado que cualquier camino mínimo lleva a un estado operativo del sistema, es evidente que los cortes mínimos deben tener al menos un arco de cada camino mínimo, es decir, al menos un arco de cada camino mínimo debe estar en estado de fallo. Así pues, si los caminos mínimos se denotan por E_i y los arcos que forman los caminos mínimos se denotan mediante e_{ij} , esto es

$$E_i = \{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in_i}\}, i = 1, 2, \dots, m$$

5. Si el primer y el último vértice de un camino es el mismo, éste se denomina **ciclo**.

se tiene que los cortes mínimos se obtienen al aplicar la ley de absorción: $A \cup (A \cap B) = A$, haciendo el desarrollo completo de la expresión:

$$\bigcap_{i=1}^m \bigcup_{j=1}^{n_i} e_{ij}$$

dónde se ha indicado mediante e_{ij} el suceso consistente en que el arco j -ésimo del camino i -ésimo opera correctamente, y mediante \bar{e}_{ij} el suceso contrario, es decir, dicho arco se encuentra en estado de fallo.

El digrafo que se genera se supondrá conexo (no hay varias partes del grafo incoexas) y acíclico (sin ciclos), y supondremos que no trabajaremos con multidgrafos, es decir, los grafos dirigidos poseen entre cada dos vértices dados a lo sumo un arco en cada sentido. Ello no supone restricción al hecho de poder colocar varios procedimientos en paralelo entre dos vértices pues, si ello sucede, el digrafo se simplifica a otro con un solo arco de i a j , mediante la aplicación de la ley paralelo⁶, como puede verse en la figura 3.

En la figura 3, además, se ha añadido en cada arco una constante numérica, r_i , que es la fiabilidad, o probabilidad de operar correctamente, asociada al mismo. Así mismo se indica la fiabilidad asociada al nuevo arco, r , en función de las fiabilidades r_i

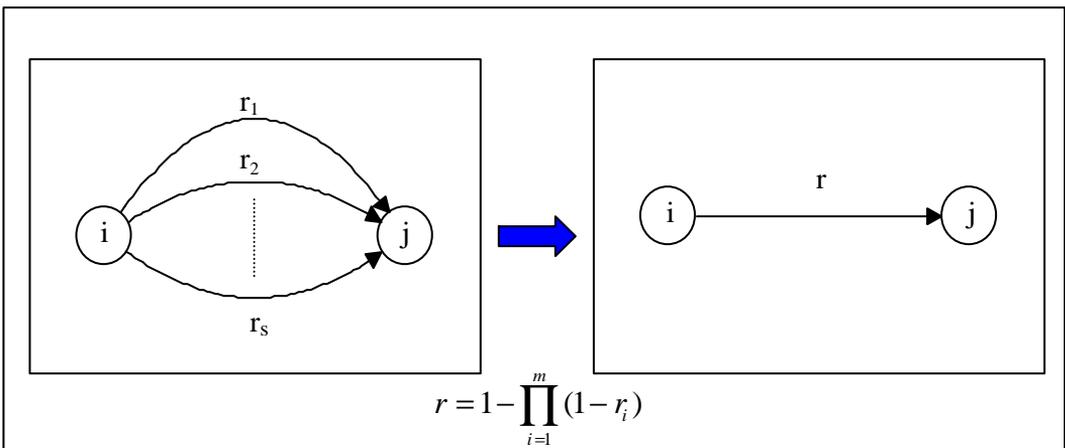


Figura 3. Fiabilidad Sistema Paralelo

6. Si se ha realizado una simplificación de k arcos en paralelo a uno sólo, habrá que tener en cuenta que por cada camino en el que aparezca el arco comprimido, deberemos expandir en k caminos, uno por cada uno de los arcos contraídos.

7. Al igual que en caso de contracción de arcos en paralelo, en el caso en serie, si se desea determinar los caminos mínimos, en cada camino en que aparezca el arco comprimido, habrá de expandirse a otro camino con todos los arcos que se contrajeron substituyendolo.

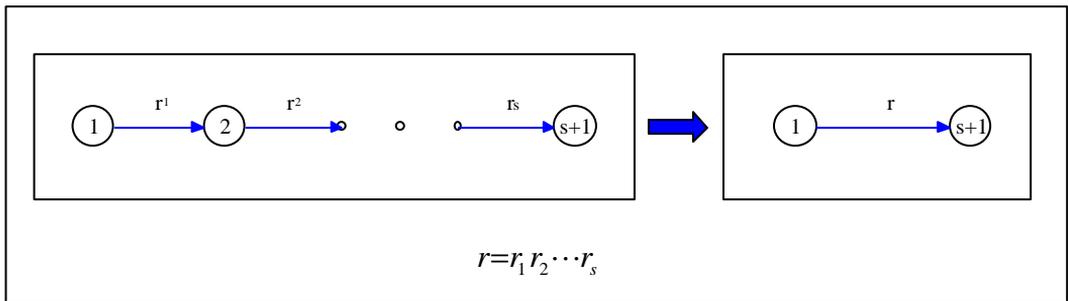


Figura 4. Fiabilidad Sistema Serie

Además, si aparecen varios nodos conectados en serie, el sistema se reduce, a efectos del cálculo de la fiabilidad global, a un sólo arco con dos nodos, donde la fiabilidad equivalente se ha obtenido ahora por la ley serie, como se observa en la figura 4⁷.

Podemos determinar todos los caminos mínimos entre los inputs y el output mediante diversos algoritmos. En el caso de un único nodo fuente, podemos representar los caminos mínimos indicando solamente los vértices que se van recorriendo, es decir, un (v,w)-camino vendrá dado por:

$$T = \langle v_{i_1}, v_{i_2}, v_{i_3}, \dots, v_{i_r} \rangle / v = v_{i_1} \quad \text{y} \quad w = v_{i_r}$$

Por tanto, la fiabilidad del sistema puede calcularse a partir de los caminos mínimos. Denotando mediante S al sistema y mediante $\mathfrak{R}(S)$ la fiabilidad del mismo, y siendo $\{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ sus caminos mínimos, se tiene que la fiabilidad del sistema viene dada por:

$$\mathfrak{R}(S) = P(T_1 \cup T_2 \cup \dots \cup T_m) \tag{1}$$

donde se ha denotado mediante T_i tanto a un camino mínimo, como al suceso consistente en que todos los arcos del mismo operen correctamente.

Desarrollando, usando las leyes de probabilidad, se tiene:

$$\mathfrak{R}(S) = \sum_{j=1}^m (-1)^{j+1} \sum_{\substack{i_1, i_2, \dots, i_j=1 \\ i_1 < i_2 < \dots < i_j}}^m P\left(\bigcap_{k=1}^j T_{i_k}\right) \tag{2}$$

También puede calcularse la fiabilidad del sistema usando los cortes mínimos. Para referirnos a un corte mínimo daremos detalle de los arcos que lo componen escribiéndolos entre corchetes:

$$K_s = [(i_1, j_1), (i_2, j_2) \dots (i_m, j_m)]$$

Si los cortes mínimos de un sistema S son $\{K_1, K_2, \dots, K_l\}$, la no-fiabilidad del mismo es la probabilidad de que al menos ocurra uno de los cortes mínimos, es decir, todos los arcos que lo componen estén inoperativos. Así, la fiabilidad, que es la probabilidad del suceso contrario, también puede obtenerse mediante la fórmula:

$$\mathfrak{R}(S) = 1 - P(K_1 \cup K_2 \cup \dots \cup K_l) \quad [3]$$

donde, en este caso, K_i representa tanto el corte mínimo como el suceso consistente en que todos los arcos de dicho corte estén inoperativos.

Desarrollando, de forma análoga al caso anterior, se tiene:

$$\mathfrak{R}(S) = 1 - \sum_{j=1}^m (-1)^{j+1} \sum_{\substack{i_1, i_2, \dots, i_j=1 \\ i_1 < i_2 < \dots < i_j}}^m P\left(\bigcap_{k=1}^j K_{i_k}\right) \quad [4]$$

En sistemas complejos, con muchos componentes, la determinación de los T_i puede ser muy ardua, así como la evaluación de la fiabilidad mediante [2] o [4]. No obstante, dada la similitud de [2] y [4], si fuera posible determinar sin excesiva dificultad tanto los caminos mínimos como los cortes mínimos, nos decidiríamos por aplicar la fórmula que tuviese menos términos.

Existen diversos métodos para enumerar los caminos mínimos y cortes mínimos de digrafos del tipo que hemos denominado *Tipo 1*. Uno de los algoritmos, más conocido para la determinación de los mismos, es el de Aggarwal *et al.* [1973].

El algoritmo de Aggarwal presenta varios inconvenientes, como es el del cálculo de determinantes simbólicos, una salida de datos no ordenada y, especialmente, que sólo es aplicable a digrafos del tipo 1, es decir, no obtiene caminos mínimos para digrafos con varias entradas, lo cual le ocurre a los demás algoritmos utilizados para obtener listas de caminos mínimos de grafos.

Se presenta, a continuación, un algoritmo de enumeración de caminos mínimos, que mejora a los métodos existentes, tanto porque permite para el caso de una sola entrada la obtención ordenada de los caminos mínimos, como por el hecho de que es más general, al permitir digrafos con varias entradas. Este algoritmo será posteriormente utilizado en un caso práctico. Los pasos del mismo son esquemáticamente los siguientes:

- *Algoritmo de obtención de caminos mínimos (digrafos con varios inputs):*

1. Introducción de la lista de nodos que forman parte del digrafo, etiquetados numéricamente en orden creciente, así como de una lista de sublistas, cada una de las cuales contiene los nodos finales de arcos cuyo origen es cada uno de los vértices de la primera lista.
2. Se forman todos los inicios de caminos, tomando un arco de salida de cada nodo de tipo IN, haciendo todos los cruces posibles.
3. Se construyen los que hemos denominado semicaminos iniciales, esto es, se desarrollan trayectos desde cada nodo tipo INPUT hasta que confluya con otro trayecto del mismo tipo, momento a partir del cual se desarrollan conjuntamente. Así se sigue hasta que hayan confluído todos los trayectos iniciales. Además este proceso se realiza de todas las formas posibles, almacenándose los semicaminos y el último nodo de confluencia de cada uno.
4. Se desarrollan los semicaminos finales, denominación que hemos aplicado a los caminos mínimos que parten de cada uno de los nodos almacenados en el paso anterior como nodo de última confluencia de semicaminos iniciales.
5. Haciendo todos los cruces posibles de semicaminos iniciales, con finales en nodos dados, y de semicaminos finales, con inicio en los nodos finales anteriores, se tienen todos los caminos mínimos del digrafo.

3. Estructura de un SCI. Su representación como digrafo

La estructura de un SCI de una corporación es, en general, la de un sistema complejo con gran profusión de procedimientos de control que pueden representarse por flujogramas y éstos, a su vez, ser tratados, a efectos de cuantificación de su fiabilidad, mediante digrafos.

Usualmente, el SCI se compone de subsistemas cada uno de los cuales tiene sus propios nodos de entrada y salida, pudiendo operar independientemente unos de otros, en cuyo caso puede estudiarse la fiabilidad de cada subsistema y luego obtener una conjunta, por ejemplo mediante colocación en serie de los subsistemas, lo cual indicaría que todos deben operar correctamente para que lo haga el SCI.

Los arcos del digrafo van a representar a los distintos procedimientos de control del SCI y sus nodos representan a los distintos estados, conclusiones, departamentos o personal, a través de los cuales fluye la información. A efectos de representación de un SCI, dicho digrafo puede ser de cualquiera de los dos tipos indicados en el epígrafe anterior:

1. Con un sólo nodo de partida y un sólo nodo final, modelo que es útil para representar el SCI (o sus subsistemas), cuando el inicio de procesos del mismo sea único.

2. Con varios nodos de partida, esquema que se utilizará en el caso en que haya varias posibilidades de iniciar el proceso.

Cada uno de los procedimientos de control interno puede fallar con una determinada probabilidad, la cual se considerará, según los casos, constante o siguiendo una distribución de probabilidad dependiente de un parámetro: tiempo, proporción de errores en el procedimiento respecto al total de usos del mismo, etc...

Una de las principales dificultades para el tratamiento mediante modelos de fiabilidad de un SCI es determinar la fiabilidad individual de cada uno de los procedimientos del mismo.

Para ello, hemos dividido los procedimientos de un SCI en dos tipos: *ejecutivos* (aquellos que dejan una documentación revisable; por ejemplo, convertir varios albaranes en una sola factura), y otros que hemos denominado *de control* (aquellos de los cuales no queda constancia revisable en la empresa; por ejemplo, comprobar que al efectuar una descarga, la mercancía coincide con los datos del albarán).

Para los primeros podemos realizar pruebas de cumplimiento, mientras que, para los segundos, utilizaremos cuestionarios modificados⁸ que permiten obtener una distribución de probabilidad que se ajusta a sus fallos, utilizando una metodología similar a la del PERT.

Desde el punto de vista del SCI, un conjunto de procedimientos que, funcionando, hace que el sistema funcione es lo que en el grafo viene representado por un *camino* que será *mínimo* si el fallo de uno cualquiera de los procedimientos implica el fallo total del sistema.

Un corte es un conjunto de procedimientos cuyo fallo conjunto provoca el fallo del sistema. Se dirá mínimo en el sentido matemático de minimal, es decir, es suficiente con que cualquiera de los procedimientos que forman el corte vuelva a estar operativo, para que el sistema global vuelva a funcionar.

A efectos del cálculo de la fiabilidad del SCI, supondremos que los procedimientos son estadísticamente independientes dos a dos, lo cual, es una simplificación del problema que, hemos de hacer notar, está de acuerdo con la norma histórica de la separación de tareas en los procedimientos y, por consiguiente, es conforme con la exigencia de independencia, intrínseca a los mecanismos de control interno de la empresa, para evitar alteraciones, intromisiones y desviaciones en los resultados debidos a otras influencias.

La relación entre debilidades del SCI y cortes mínimos del grafo asociado es evidente, pues el corte representa un conjunto de procedimientos cuyo fallo simultáneo supone un fallo en el sistema total. Una vez sobrevenido un fallo total del sistema, el

8. Véase Andújar *et al.* [1997b: 69-78] donde se utiliza una distribución triangular para modelar los fallos de los componentes del SCI, y se explica cómo determinar la fiabilidad de cada uno de ellos. Así mismo en el Anexo II se detalla el proceso.

hecho de que haya más fallos en procedimientos individuales no supone nada respecto al hecho de que ya se ha producido el fallo.

Estamos interesados en dos clases de cortes mínimos -como representación de debilidades que son-, a saber,

- 1) Aquellos tales que, estudiada la fiabilidad de los distintos procedimientos del SCI, poseen en su conjunto una fiabilidad menor. La comunicación de estas debilidades por parte del auditor puede ir acompañada de posibles soluciones que deben ir encaminadas a una mejora de la fiabilidad de los procedimientos individuales.
- 2) Los de cardinalidad menor, es decir, aquellos procedimientos que son cruciales en el desarrollo y culminación del ciclo económico que estamos tratando. Por ejemplo, cortes de un sólo arco, aunque éste sea de alta fiabilidad, suponen un serio peligro, por lo que es necesario comunicar la debilidad que representa y, opcionalmente, dar alternativas, que en este caso van dirigidas a la colocación en paralelo, bloque k de m, stand-by, etc., de otros procedimientos, de forma que haya un reparto de responsabilidad entre el procedimiento inicial y los añadidos.

Hay que tener en cuenta que, a la hora de obtener los cortes mínimos para una posterior búsqueda de las debilidades del SCI, si se han hecho simplificaciones en el digrafo con vistas a la obtención de la fiabilidad total del mismo, hemos de retomar el digrafo original para poder dar detalle de los procedimientos individuales.

Por lo tanto, podemos aplicar esta técnica de cortes mínimos para emitir el informe relativo a las debilidades del SCI atendiendo a los siguientes criterios:

1. Detectar qué cortes pueden ocurrir con una mayor probabilidad y si ésta supera cierta cota preestablecida en función de la materialidad, lo cual plantea una debilidad.
2. Detectar los cortes con un número mínimo de componentes, lo cual, aunque la probabilidad de ocurrencia sea pequeña, nos permite avisar del hecho de que, en el caso de variar las fiabilidades individuales de los procedimientos de control interno, podría producirse un error debido a que el fallo global depende de muy pocos fallos individuales.
3. Un tercer apartado del informe -no obligatorio según las NTA-, puede ser el relativo a las sugerencias para mejorar la fiabilidad del sistema que, en general, versarán sobre intentar aumentar la fiabilidad de elementos individuales para los ejes de cortes tipo 1, mientras que para los del tipo 2, su fiabilidad puede incrementarse por redundancia, es decir, añadiendo procedimientos en paralelo a los ya existentes.

A la vista de los conjuntos de corte que se compruebe que no verifican las normas establecidas, se elaborará el informe sobre debilidades del SCI.

4. Caso práctico: Ciclo de venta y facturación. Distribuidor mayorista

Mediante un ejemplo real (un distribuidor mayorista de bebidas y productos alimenticios) vamos a utilizar el procedimiento descrito anteriormente para detectar las debilidades en el SCI del ciclo de ventas de una empresa.

Presentamos un Diagrama de Flujo del ciclo de ventas de una empresa, ejemplificado en una empresa que tiene dos líneas de venta, una al por mayor y otra al por menor (Fig. 5).

Mediante las líneas más gruesas se han indicado aquellos procedimientos que no se efectúan diariamente, sino de forma mensual; en círculos significamos la correspondiente anotación en un apunte contable; en rectángulos se señalan los distintos procedimientos; en rombos los procesos de decisión; y en cilindros los procesos de almacenamiento, para posteriores comprobaciones.

El proceso de ventas bajo pedido a bares, tiendas, hoteles, etc., se subdivide en tres líneas de ventas distintas:

- a) Línea de ventas por cuenta de un proveedor, en la que se trata de servir productos que están en nuestro almacén en depósito y que, a petición de clientes que suelen ser distribuidores más pequeños, servimos pero no facturamos directamente y sólo tenemos los albaranes por cuenta del proveedor. Este proceso viene representado por el arco (1,5).
- b) Línea de ventas a clientes propios mediante pedidos que han sido recogidos por nuestros preventistas en la instalación del cliente. El pedido es recepcionado con su albarán y pueden existir varios albaranes al mes, haciéndose una sola factura. El proceso (2,6) representa la emisión del albarán por el preventista (puede ser manual o por procesador móvil).
- c) Línea de ventas a clientes mediante pedidos que realizan ellos directamente sin que medie un preventista. Se conserva el fax, u otro soporte físico, en el que se realizó el pedido. Proceso (3,7).

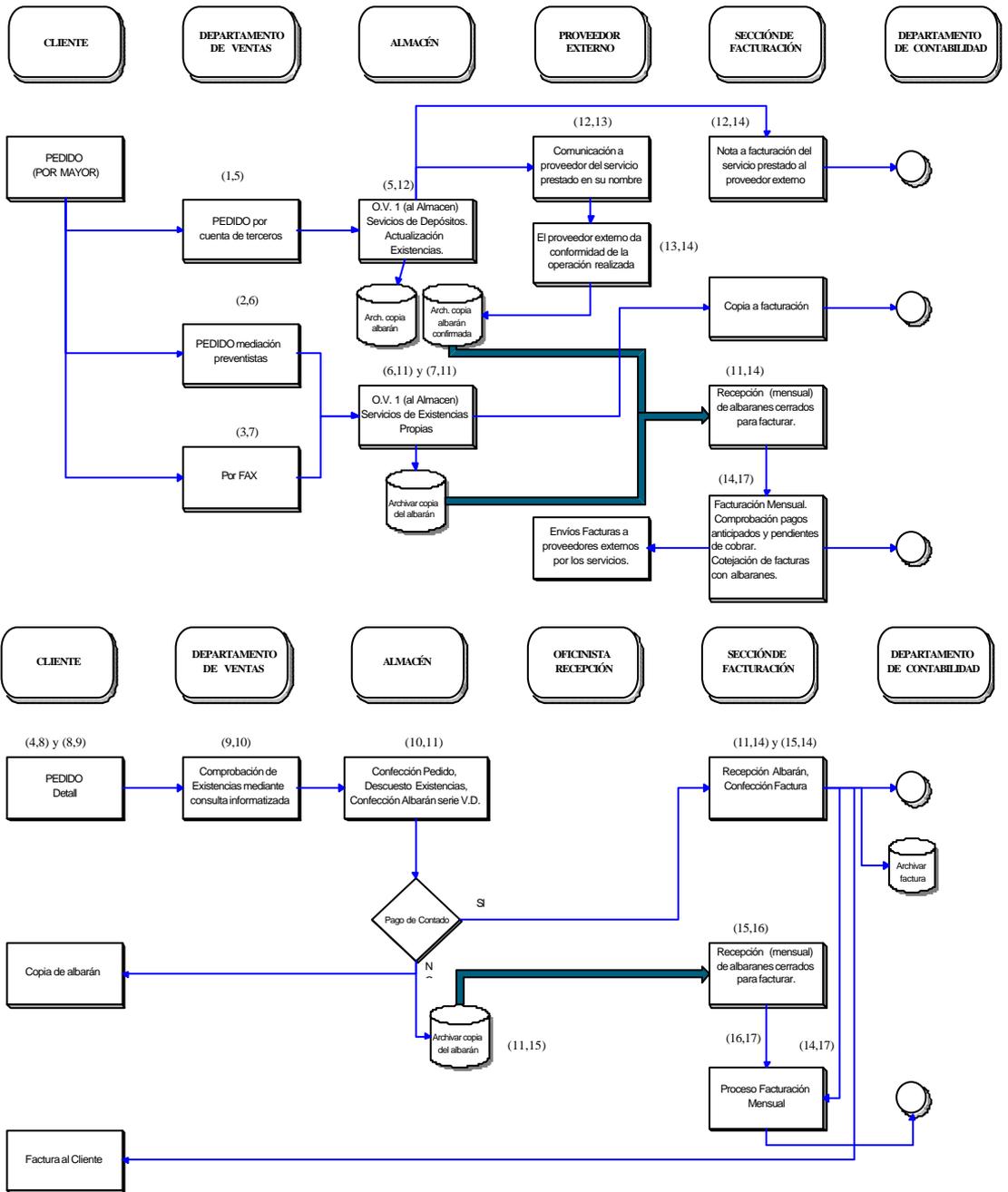


Figura 5. Diagrama de Flujo

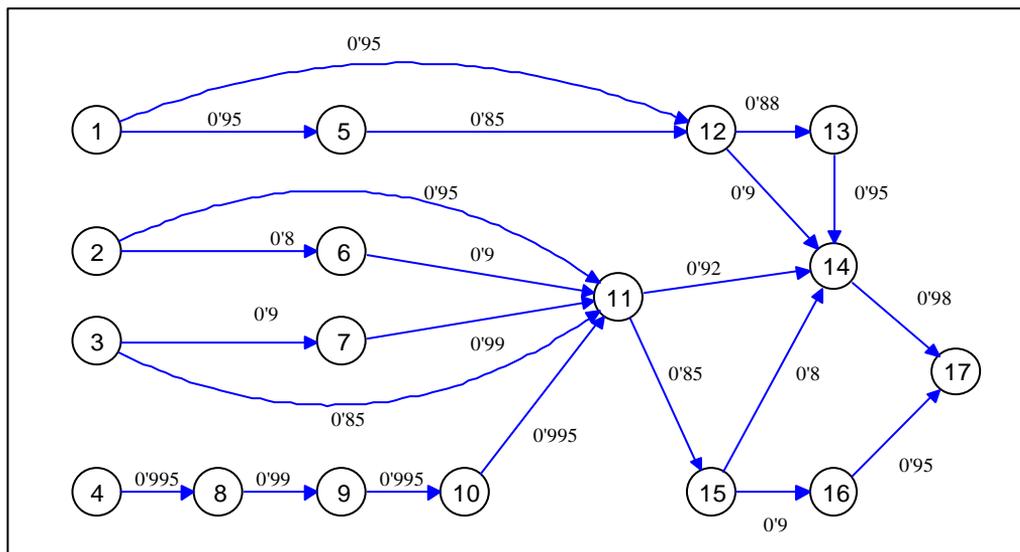


Figura 6. Digrafo con varios inputs

Se detalla, a continuación el significado de los arcos.

- (5,12), (6,11), (7,11): Todos los pedidos se pasan al almacén para proceder a su carga, unos pedidos se sirven de los depósitos y otros de las existencias propias.
- (1,12), (2,11), (3,11): El encargado del almacén comprueba que lo cargado en los camiones de reparto coincide con lo que hay en los albaranes y, tras firmarla, queda una copia en su contabilidad.
- (12,13): Una vez servidos los pedidos a los clientes, se pasa nota al proveedor de que se ha servido la mercancía.
- (12,14): Una vez servido el pedido se pasa nota a facturación, del servicio prestado al proveedor, para facturar al mismo.
- (13,14): El proveedor da el visto bueno respecto al servicio prestado por su cuenta y libera la facturación.
- (11,14): Mensualmente se pasan los albaranes a facturación, para su recuento y emisión de una sola factura que puede contener de 4 a 8 albaranes normalmente. En este proceso se aúnan y reorganizan los albaranes. Los cobros anticipados de estos albaranes se han anotado en contabilidad cada día al recepcionar los cobros recibidos, la mercancía devuelta y las rectificaciones en los albaranes.
- (14,17): Se realiza la facturación mensual y se comprueba que hay conformidad entre los pagos anticipados del mes con el pendiente de cobrar que aparecen en las facturas.

- (4,8): Inicio del proceso de Ventas en Almacén: Comprobar que todos los albaranes de Almacén del día anterior se han pasado a facturación.
- (8,9): Se presenta en el propio almacén una persona que realiza un pedido de compra directa, generalmente no empresario. Este pedido se procesa en ordenador, emitiéndose albarán de otra serie.
- (9,10): Se comprueba a través de ordenador que existen disponibilidades de servicio según existencias en Almacén.
- (10,11): Se pasa el albarán al Almacén, para que el empleado del mismo, confeccione el pedido y proceda a ponerlo a disposición del cliente, comprobando la carga real y el albarán.
- (11,14): Si no ha habido ningún inconveniente en los pasos previos y el cliente ha pagado, se pasa el albarán a facturación.
- (11,15): Si el cliente no ha pagado, es decir, no es de contado, el albarán queda en custodia del oficinista de recepción, pues ya ha rebajado de existencias el servicio.
- (15,16): El encargado de recepción solicita al recepcionista todos los albaranes pendientes de facturar al mes.
- (14,17) y (16,17): Proceso de facturación tanto de servicios como de productos. Este proceso que se realiza automáticamente, termina cuando a cada factura (física) se le adhieren los albaranes correspondientes.
- (15,14): Si a lo largo del mes, el cliente abona el pedido, se libera el proceso de facturación y se anota el cobro anticipado en contabilidad.
- (16,17): Se facturan todas las compras directas que aún no están pagadas y se comprueba el cuadro del pendiente de cobro en facturas con el pendiente de cobro en albaranes.

El diagrama de flujo descriptivo del proceso de ventas presentado en la figura 5, se transforma en el digrafo de la figura 6, que será el punto de partida para detectar las debilidades del SCI, en este ciclo. Para asignar probabilidades a cada uno de los procesos que aparecen en el grafo, se han dividido los mismos en ejecutivos y de control, se han pasado los cuestionarios modificados y realizado las pruebas de cumplimiento⁹.

En el digrafo de la figura 6, cada arco representa un procedimiento y se ha anotado en cada uno de ellos la fiabilidad que se ha estimado mediante muestreo, metodología PERT u otras técnicas -En el anexo II, exponemos una posible forma de obtención-. A partir de los caminos mínimos de este grafo (uniendo los inputs al output), se ha aplicado el proceso de obtención de cortes mínimos indicado en el epígrafe 2¹⁰.

9. Para un análisis más detallado véase Andújar *et al.* [1997b: 69-78].

10. Para no romper la homogeneidad del texto, se han incluido en el Anexo I tanto los caminos como los cortes mínimos asociados al digrafo de la figura 6.

Para que ocurra un fallo en el SCI han de fallar simultáneamente todos los procedimientos que forman parte de un corte mínimo. Dado que se está suponiendo independencia entre los fallos de los distintos procedimientos, la probabilidad de que ocurra este corte mínimo es el producto de las no-fiabilidades de los arcos que lo forman.

En nuestro caso práctico, supongamos que el auditor ha fijado que todas aquellas fuentes de error del sistema, con probabilidad de ocurrir igual o superior al 1% deben anotarse como debilidades.

Todos los caminos y cortes mínimos del caso práctico se encuentran en el Anexo I. Hemos realizado el cálculo de la no-fiabilidad (probabilidad de estar en estado de fallo todos los arcos del corte) de cada uno de ellos y hemos obtenido que los cortes que suponen debilidad por alcanzar o superar dicho margen son los siguientes:

$$K_2, K_5, K_8, K_{12} \text{ y } K_{14}$$

siendo las no-fiabilidades respectivas las siguientes:

$$\Pr(K_2) = 0.01; \Pr(K_5) = 0.02;$$

$$\Pr(K_8) = 0.012; \Pr(K_{12}) = 0.015;$$

$$\Pr(K_{14}) = 0.012$$

A título de ejemplo, para explicar como se han obtenido estas probabilidades, se presenta el desarrollo del cálculo de ocurrencia del corte K_{14} , el cual se produce cuando los dos procedimientos que lo componen y que se encuentran representados en el grafo por los arcos (11,14) y (11,15), están en estado de fallo.

Como sus fiabilidades son (según la figura 6), $R((11,14)) = 0.92$ y $R((11,15)) = 0.85$ entonces sus probabilidades de fallo son $1 - R((11,14))$ y $1 - R((11,15))$. Por último, como se supone independencia en los fallos, la probabilidad de que fallen ambos procedimientos es el producto de las dos probabilidades de fallo anteriores:

$$\Pr(K_{14}) = [1 - R((11,14))] \times [1 - R((11,15))] = (1 - 0.92)(1 - 0.85) = 0.012$$

Y si, además, en lo relativo al segundo tipo de debilidad que hemos planteado, el auditor desea informar de los fallos en el sistema, producidos por el fallo de muy pocos procedimientos, basta que informe acerca de los cortes mínimos con número de elementos menor que el fijado. Por ejemplo, en el caso práctico que nos ocupa,

supongamos que se fija que se ha de informar de los fallos del sistema producidos por el fallo de un solo procedimiento; en dicho caso, se debe informar de los cortes

$$K_1, K_2, K_3, K_4 \text{ y } K_5$$

aún en el caso de que ninguno de ellos posea una no-fiabilidad superior a la prefijada anteriormente y, siempre que los arcos correspondientes no procedan de una simplificación de la ley paralelo, en cuyo caso no se trataría de una debilidad, si bien en este caso práctico no se ha aplicado ninguna simplificación en este sentido.

Una vez obtenidos los conjuntos de corte que no cumplen las normas establecidas, tendríamos que incluir en el informe sobre debilidades del SCI:

"Cuando ocurren los fallos de todos los procedimientos contenidos en K_2, K_5, K_8, K_{12} o K_{15} , se produce un fallo total del sistema que, además, se sale de los límites previstos, por lo que deben ejercerse las acciones pertinentes para que se consiga aumentar la fiabilidad de los procedimientos individuales incluidos en los conjuntos anteriores".

Es decir, a fin de aumentar la fiabilidad del SCI, es necesario lograr una disminución de la frecuencia de aparición de fallos simultáneos en los procedimientos que componen cada uno de los cortes mínimos de los que se informa. Si se trata de procedimientos realizados por personal, pueden plantearse acciones tales como cursos de reciclaje, incentivos, reparto de tareas, etc.; en el caso de procedimientos mecanizados o programas informáticos, pueden plantearse la mejora o renovación de los mismos.

Como segunda parte del informe debe añadirse:

"Ocurren fallos globales, al fallar tan sólo el procedimiento individual que compone cualquiera de los conjuntos K_1, K_2, K_3, K_4 o K_5 , por lo que deberíamos introducir modificaciones dirigidas a aumentar el número de procedimientos (controles) en cada uno de estos conjuntos, de modo que la responsabilidad no recaiga en un sólo elemento".

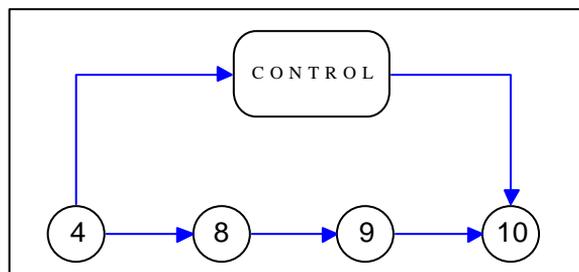


Figura 7. Control sobre procedimientos en Serie

En el caso de la debilidad que supone el corte K_5 , se pueden añadir como posible solución, la creación de un procedimiento en paralelo como el siguiente:

Comprobar que cada factura contiene físicamente todos los albaranes, ejerciendo un control físico consistente en hacer aparecer en la factura el número de albaranes y procediendo a contarlos una vez emitida.

Por lo que respecta a las debilidades K_1, K_2, K_3 y K_4 , dado que se encuentran en serie, es posible la colocación de un único control, en paralelo con todos los procedimientos que componen dichos cortes, en la forma indicada en la figura 7. Dicho control puede consistir en lo siguiente:

La emisión diaria de un parte que coteje la variación del stock del almacén con las salidas totales producidas por venta directa.

5. Conclusiones

Una vez establecida la relación entre el concepto matemático de cortes mínimos y el económico de debilidades de un SCI, haciendo uso de la teoría de la fiabilidad, se han distinguido dos tipos de debilidades.

Por una parte, el auditor ha establecido un nivel de confianza a alcanzar por el SCI. El primer tipo de debilidad lo constituye el fallo simultáneo de varios procedimientos que componen un corte mínimo y, por tanto, dan lugar al fallo del SCI, siempre que la probabilidad de que éste ocurra haga que no se alcance la confianza propuesta.

Por otra parte, debilidades debidas a que el fallo de unos pocos procedimientos (uno o dos, según el caso) suponga un fallo del SCI, aún cuando estos procedimientos sean de alta fiabilidad. Ello es debido a la gran responsabilidad que recae sobre muy pocos procedimientos, dado que una variación por cualquier motivo en la fiabilidad de los mismos puede dar lugar a graves errores del SCI.

Por lo tanto, hemos propuesto la técnica de determinar los cortes mínimos del digrafo asociado al SCI, calculando su no-fiabilidad, o probabilidad de que ocurran, a fin de emitir el informe relativo a las debilidades, siguiendo los pasos detallados en el cuarto epígrafe.

Finalmente, indicamos que los algoritmos y diversos cálculos realizados para la elaboración de este trabajo, han sido programados en MATHEMATICA¹¹, sirviendo como parte del núcleo de una aplicación informática que, por una parte, libere al auditor de tareas que se salen de su tarea profesional, mientras que, por otra, pueda

11. Es marca registrada de Wolfram Research, Inc.

ayudarle a mejorar la realización de la auditoría. Así queremos señalar las pautas para el desarrollo de la aplicación informática de ayuda en la evaluación del SCI, cuyo funcionamiento seguirá los siguientes pasos generales:

- El auditor estudiaría el funcionamiento interno de la empresa, su manual de operaciones (de existir) y establecería un flujograma de la misma, señalando procedimientos ejecutivos y de control, datos que aportaría como *input* al programa informático.
- El programa analizaría los distintos procesos ejecutivos y de control, proporcionando para cada uno de ellos las correspondientes pruebas de cumplimiento y cuestionarios que, una vez completados, serían un nuevo *input* para el programa.
- El programa, siguiendo el algoritmo expuesto en este trabajo, analizaría el grafo asociado al flujograma, identificaría las debilidades en el sentido expuesto en la sección cuarta, obtendría la confianza que podemos depositar en el SCI y haría una propuesta de corrección de debilidades.

Este sería, en resumen, el funcionamiento de la aplicación informática y queremos poner de manifiesto que sería accesible a cualquier auditor pues no se exigen conocimientos que estén fuera de la esfera de trabajo habitual del profesional de auditoría, como es elaborar un flujograma, pasar un cuestionario o realizar una prueba de cumplimiento. Todo lo demás, sería procesado internamente, invisible al auditor profesional.

Recogida e introducida adecuadamente toda la información procedente de los cuestionarios y la estimación obtenida de las pruebas de cumplimiento, obtendríamos como salida del programa:

- a) Fiabilidad del sistema.
- b) Informe de debilidades.
- c) Propuesta de corrección.

Así, el importante problema de determinar la confianza a depositar en el SCI, encuentra en la Teoría de Fiabilidad, que nació para dar respuesta a necesidades de calidad y precisión en el campo de la Ingeniería, una fructífera herramienta de modo que este problema del campo de la Auditoría, puede encontrar un método de cuantificación apoyado en unos fundamentos económico-matemáticos adecuados, haciendo uso de los medios informáticos actuales.

Bibliografía

- A.I.C.P.A. [1973]: Statement on Auditing Standards, N° 1.
- AGGARWAL, K.; GUPTA, J.S.; MISRA, K.B. [1973]: «A New Method for System Reliability Evaluation», *Microelectronics and Reliability*, vol. 12: 435-440.
- ALMELA DÍAZ, B. [1987]: Control y Auditoría Internos de la Empresa (Consejo General de Colegios de Economistas, Valencia).
- ALVÁREZ LÓPEZ, J. [1989]: Auditoría Contable (Instituto de Contabilidad y Auditoría de Cuentas, Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid).
- ANDÚJAR RODRÍGUEZ, A.; GARCÍA PÉREZ, J.; CRUZ RAMBAUD, S. [1996]: «Cortes Mínimos de un Árbol de Fallos. Aplicación a la Detección de las Debilidades de un Sistema de Control Interno en Auditoría», X Reunión Anual de ASEPELT, Albacete, junio. ANALES DE ECONOMÍA APLICADA.
- ANDÚJAR RODRÍGUEZ, A.; GARCÍA PÉREZ, J.; CRUZ RAMBAUD, S. [1997a]: «El Control Interno: ¿Una Práctica Actual?», *Partida Doble*, num. 77, abril: 57-68.
- ANDÚJAR RODRÍGUEZ, A.; GARCÍA PÉREZ, J.; CRUZ RAMBAUD, S. [1997b]: «La Fiabilidad de un Sistema de Control Interno», *Partida Doble*, num. 77, abril: 69-78.
- ARENS, M.R.; LOEBBECKE, J.K. [1995]: Auditoría: Un Enfoque Integral (Prentice-Hall)
- BABER, WR. [1985]: «A Framework for Making a Class of Internal Accounting Control Decisions», *Journal of Accounting Research*, vol. 23, num. 1, Spring: 360-369.
- BODNAR, G. [1975]: «Reliability Modeling of Internal Control Systems», *The Accounting Review*, vol. 50, October: 747-757.
- CASALS CREUS, R.; GASSO VILAFRANCA, J.M.; SORIA SENDRA, C. [1989]: Fundamentos de Auditoría (Instituto de Auditores-Censores Jurados de Cuentas de España, Madrid).
- COOLEY, J. W.; COOLEY, B.J. [1982]: «Internal Accounting Control Systems», *Simulation & Games*, vol. 13, num. 2, June: 211-231.
- COOPERS & LYBRAND [1993]: Contabilidad, Auditoría y Control Interno (Ediciones Deusto, Bilbao).
- CUSHING, B.E. [1974]: «A Mathematical Approach to the Analysis and Design of Internal Control Systems», *The Accounting Review*, vol. 49, January: 22-41.
- DUSSAULX, PA. [1972]: El Control o Auditoría Interna (Guadiana, Madrid).
- FOULDS, L.R. [1994]: Graph Theory Applications, (Springer-Verlag, New York).
- GIRONELLA MASGRAU, E. [1976]: El Control Interno y la Censura de Cuentas (Ediciones ICE, Madrid).
- GRIMLUND, R.A. [1982]: «An Integration of Internal Control System and Account Balance Evidence», *Journal of Accounting Research*, vol. 20, num. 2, Pt. I, Autumn: 316-342.

- GROSH, D.L. [1989]: *A Primer of Reliability Theory* (John Wiley & Sons, Singapore).
- HAUPTMANSS, U. [1986]: *Análisis de Árboles de Fallos*, (Ediciones Bellaterra, Barcelona).
- IRWIN, I.; LEVITZ, L.J.; FREED, A. [1964]: «Human Reliability in Performance of Maintenance», *Proceedings, Symposium of Quantification of Human Performance* (Albuquerque, N.M., August 17-19), pp. 143-198.
- MADARIAGA, J.M., KIRKBY, D. [1986]: *La Auditoría en la Práctica con la Solución de 200 Casos* (Ediciones Deusto, Bilbao).
- MEISTER, D. [1964]: «Methods of Predicting Human Reliability in Man-Machine Systems», *Human Factors*, Dic, 621-646.
- MILLÁN FERNÁNDEZ, W [1987]: *Auditoría Empresarial* (I.C.A.C., Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid).
- PEREDA SIGÜENZA, J.M. [1995]: *Manual de Auditoría y Cuentas Anuales* (Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid).
- POCH Y TORRES, R. [1987]: *El Control Interno en la Empresa* (Tesis Doctoral), (Servicio de Publicaciones de la Universidad de Barcelona).
- POCH Y TORRES, R. [1992]: *Manual de Control Interno* (Eada Gestión, Barcelona).
- PORTER, WT.; BURTON, J.C. [1980]: *Auditoría: Un Análisis Conceptual* (Diana, Mexico).
- REGISTRO DE ECONOMISTAS AUDITORES [1994]: *Manual Práctico de Control Interno*. Consejo General de Colegios de Economistas.
- RIBNIKOV, K. [1988]: *Análisis Combinatorio* (Editorial Mir, Moscú).
- ROCAFORT NICOLAU, A. [1985]: *Auditoría de Cuentas* (Hispano-Europea, S.A.).
- SÁNCHEZ FERNÁNDEZ DE VALDERRAMA, J.L. [1996]: *Teoría y Práctica de la Auditoría* (Ciencias de la Dirección, Madrid).
- SCHUSTER, J.A. [1992]: *Control Interno*, (Ediciones Macchi, Buenos Aires).
- SERRANO MORACHO, F. [1994]: *Normas Técnicas de Auditoría* (I.C.A.C., Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid).
- SRINIDI, B.N.; VASHARELYI, M.A. [1986]: «Auditors Judgment Concerning Establishment of Substantive Tests Based on Internal Control Reliability», *Auditing: A Journal of Practice & Theory*, vol. 5, num. 2, Spring: 64-76.
- SRIVASTAVA, PS. [1986]: «Auditing Function for Internal Control Systems with Interdependent Documents and Channels», *Journal of Accounting Research*, vol. 24, num. 2, Autumn: 422-426.
- SUÁREZ, A.S. [1990]: *La moderna Auditoría. Un Análisis Conceptual y Metodológico*, (McGraw-Hill, Madrid).

- TOWNSEND, M. [1987]: Discrete Mathematics: Applied Combinatorics and Graph Theory, (The Benjamin/Cummings Publishing, Menlo Park, California).
- URÍAS VALIENTE, J. [1990]: El Objetivo de Relevancia en el Informe del Auditor independiente, Monografía 21, (Instituto de Contabilidad y Auditoría de Cuentas, Madrid).
- URÍAS VALIENTE, J. [1987]: Auditoría Financiera (Tébar Flores, Madrid).
- YU, S.; NETER, J. [1973]: «A Stochastic Model of the Internal Control System», Journal of Accounting Research, vol. 11, num. 2, Autumn: 273-295.
- ZACKS, S. [1992]: Introduction to Reliability Analysis (Springer-Verlag, New York).

ANEXO I

CAMINOS Y CORTES MÍNIMOS DEL CASO PRÁCTICO

1. Caminos Mínimos (Corresponden al digrafo de la figura 6):

- $P_1 <(1, 5), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (9, 10), (11, 14), (12,14), (10, 11), (14,17)>$,
- $P_2 <(1, 5), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (9, 10), (11, 14), (12, 13), (10, 11), (13, 14), (14,17)>$,
- $P_3 <(1, 5), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (9, 10), (11, 15), (12, 14), (10, 11), (15, 14), (14,17)>$,
- $P_4 <(1, 5), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (9, 10), (11, 15), (12, 13), (10, 11), (13, 14), (15, 14), (14,17)>$,
- $P_5 <(1, 5), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (9, 10), (11, 15), (12, 14), (10, 11), (14, 17), (15, 16), (16, 17)>$,
- $P_6 <(1, 5), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (9, 10), (11, 15), (12, 13), (10, 11), (13, 14), (15, 16), (14, 17), (16, 17)>$,
- $P_7 <(1, 5), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (8, 9), (11, 14), (9, 10), (12, 14), (10, 11), (14,17)>$,
- $P_8 <(1, 5), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (8, 9), (11, 14), (9, 10), (12, 13), (10, 11), (13, 14), (14,17)>$,
- $P_9 <(1, 5), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 14), (15, 14), (10, 11), (14,17)>$,
- $P_{10} <(1, 5), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 13), (15, 14), (10, 11), (13, 14), (14,17)>$,
- $P_{11} <(1, 5), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 14), (15, 16), (10, 11), (14, 17), (16, 17)>$,
- $P_{12} <(1, 5), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (6, 11), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 13), (15, 16), (10, 11), (13, 14), (16, 17), (14, 17)>$,

- $P_{13} <(1, 5), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (7, 11), (8, 9), (11, 14), (9, 10), (12, 14), (10, 11), (14, 17)>$,
- $P_{14} <(1, 5), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (7, 11), (8, 9), (11, 14), (9, 10), (12, 13), (10, 11), (13, 14), (14, 17)>$,
- $P_{15} <(1, 5), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (7, 11), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 14), (15, 14), (10, 11), (14, 17)>$,
- $P_{16} <(1, 5), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (7, 11), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 13), (15, 14), (10, 11), (13, 14), (14, 17)>$,
- $P_{17} <(1, 5), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (7, 11), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 14), (15, 16), (10, 11), (14, 17), (16, 17)>$,
- $P_{18} <(1, 5), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (5, 12), (7, 11), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 13), (15, 16), (10, 11), (13, 14), (16, 17), (14, 17)>$,
- $P_{19} <(1, 5), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 14), (15, 14), (10, 11), (14, 17)>$,
- $P_{20} <(1, 5), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 13), (15, 14), (10, 11), (13, 14), (14, 17)>$,
- $P_{21} <(1, 5), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 14), (15, 16), (10, 11), (14, 17), (16, 17)>$,
- $P_{22} <(1, 5), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (8, 9), (11, 15), (9, 10), (12, 13), (15, 16), (10, 11), (13, 14), (16, 17), (14, 17)>$,
- $P_{23} <(1, 5), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (8, 9), (11, 14), (9, 10), (12, 14), (10, 11), (14, 17)>$,
- $P_{24} <(1, 5), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (5, 12), (8, 9), (11, 14), (9, 10), (12, 13), (10, 11), (13, 14), (14, 17)>$,
- $P_{25} <(1, 12), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (12, 14), (9, 10), (11, 14), (10, 11), (14, 17)>$,
- $P_{26} <(1, 12), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (12, 13), (9, 10), (11, 14), (13, 14), (10, 11), (14, 17)>$,
- $P_{27} <(1, 12), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (12, 14), (9, 10), (11, 15), (10, 11), (15, 14)>$,
- $P_{28} <(1, 12), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (12, 13), (9, 10), (11, 15), (13, 14), (10, 11), (15, 14), (14, 17)>$,
- $P_{29} <(1, 12), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (12, 14), (9, 10), (11, 15), (14, 17), (10, 11), (15, 16), (16, 17)>$,
- $P_{30} <(1, 12), (2, 6), (3, 7), (4, 8), (6, 11), (7, 11), (8, 9), (12, 13), (9, 10), (11, 15), (13, 14), (10, 11), (14, 17), (15, 16), (16, 17)>$,
- $P_{31} <(1, 12), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (6, 11), (8, 9), (11, 15), (12, 14), (9, 10), (15, 14), (10, 11), (14, 17)>$,
- $P_{32} <(1, 12), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (6, 11), (8, 9), (11, 15), (12, 13), (9, 10), (13, 14), (15, 14), (10, 11), (14, 17)>$,
- $P_{33} <(1, 12), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (6, 11), (8, 9), (11, 15), (12, 14), (9, 10), (14, 17), (15, 16), (10, 11), (16, 17)>$,
- $P_{34} <(1, 12), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (6, 11), (8, 9), (11, 15), (12, 13), (9, 10), (13, 14), (15,$

- 16), (10, 11), (14, 17), (16, 17)>, $P_{35} < (1, 12), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (6, 11), (8, 9), (11, 14), (12, 14), (9, 10), (10, 11), (14, 17) >$, $P_{36} < (1, 12), (2, 6), (3, 11), (4, 8), (6, 11), (8, 9), (11, 14), (12, 13), (9, 10), (13, 14), (10, 11), (14, 17) >$, $P_{37} < (1, 12), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (7, 11), (8, 9), (11, 15), (12, 14), (9, 10), (15, 14), (10, 11), (14, 17) >$, $P_{38} < (1, 12), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (7, 11), (8, 9), (11, 15), (12, 13), (9, 10), (13, 14), (15, 14), (10, 11), (14, 17) >$, $P_{39} < (1, 12), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (7, 11), (8, 9), (11, 15), (12, 14), (9, 10), (14, 17), (15, 16), (10, 11), (16, 17) >$, $P_{40} < (1, 12), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (7, 11), (8, 9), (11, 15), (12, 13), (9, 10), (13, 14), (15, 16), (10, 11), (14, 17), (16, 17) >$, $P_{41} < (1, 12), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (7, 11), (8, 9), (11, 14), (12, 14), (9, 10), (10, 11), (14, 17) >$, $P_{42} < (1, 12), (2, 11), (3, 7), (4, 8), (7, 11), (8, 9), (11, 14), (12, 13), (9, 10), (13, 14), (10, 11), (14, 17) >$, $P_{43} < (1, 12), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (8, 9), (11, 15), (12, 14), (9, 10), (15, 14), (10, 11), (14, 17) >$, $P_{44} < (1, 12), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (8, 9), (11, 15), (12, 14), (9, 10), (14, 17), (15, 16), (10, 11), (16, 17) >$, $P_{45} < (1, 12), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (8, 9), (11, 15), (12, 13), (9, 10), (13, 14), (15, 14), (10, 11), (14, 17) >$, $P_{46} < (1, 12), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (8, 9), (11, 15), (12, 13), (9, 10), (13, 14), (15, 16), (10, 11), (14, 17), (16, 17) >$, $P_{47} < (1, 12), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (8, 9), (11, 14), (12, 14), (9, 10), (10, 11), (14, 17) >$, $P_{48} < (1, 12), (2, 11), (3, 11), (4, 8), (8, 9), (11, 14), (12, 13), (9, 10), (13, 14), (10, 11), (14, 17) >$,

2. Cortes mínimos para el caso práctico (corresponden al grafo de la figura 6):

$$K_1 = [(4,8)], K_2 = [(8,9)], K_3 = [(9,10)], K_4 = [(10,11)], K_5 = [(14,17)],$$

$$K_6 = [(1,5), (1,12)], K_7 = [(1,12), (5,12)], K_8 = [(12,13), (12,14)], K_9 = [(12,14), (13,14)],$$

$$K_{10} = [(2,6), (2,11)], K_{11} = [(2,11), (6,11)], K_{12} = [(3,7), (3,11)], K_{13} = [(3,11), (7,11)],$$

$$K_{14} = [(11,14), (11,15)], K_{15} = [(11,14), (15,14), (15,16)], K_{16} = [(11,14), (15,14), (16,17)]$$

ANEXO II

ASIGNACIÓN DE FIABILIDAD A UN PROCEDIMIENTO

Las siglas PERT¹²proviene del nombre dado, en la década de los 60, a una técnica de estimación de tiempo de realización del proyecto Polaris, gracias a la cual se consiguió, según la Armada de EE.UU., una reducción de más de un año en el mismo.

Para ello, en la metodología PERT clásica, se requiere la opinión de un experto en la materia al cual se le pregunta acerca de los valores pesimista, optimista y más probable en la duración de determinadas tareas. En concreto, en el nacimiento de dicha metodología, se trataba de estimar tiempos de realización de las tareas que llevarían a la construcción del Polaris. A partir de estas tres estimaciones, con algunas suposiciones que se detallarán más adelante, se ajustaba una distribución beta, correspondiente al primer caso de la distribución beta de tipo I, cuya función de densidad viene dada por:

$$f(x) := \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{B(p,q)(b-a)^{p+q-1}} = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}}, \quad a < x < b, \quad p, q > 1$$

Añadida a la dificultad que por sí misma encierra para el experto dar una respuesta fiable para los valores pesimista, más probable y optimista, nos encontramos con otra, la necesidad por parte del analista de estimar los cuatro parámetros que determinan la distribución beta indicada: a, b, p, q , a partir de sólo tres datos aportados por el experto. Con ellos no se determina exactamente una distribución beta, sino una familia de ellas, dependiente de un parámetro.

En la metodología clásica del PERT, se recurre a hipótesis simplificadoras que llevan a que los parámetros p y q tomen los valores

$$\begin{cases} p = 3 + \sqrt{2}, q = 3 - \sqrt{2}, & \text{si } m > \frac{a+b}{2} \\ p = 3 - \sqrt{2}, q = 3 + \sqrt{2} & \text{si } m < \frac{a+b}{2} \end{cases}$$

En general, a partir de cuestionarios modificados¹³, puede obtenerse una distribución de ajuste a cada una de las respuestas al cuestionario.

12. Siglas de *Program Evaluation and Review Technique*.

13. En los cuestionarios clásicos para evaluar el SCI, transformamos las cuestiones a fin de que las respuestas no sean del tipo SI-NO, pidiendo en su lugar valores mínimo, máximo y más probable del porcentaje de veces que cada procedimiento opera correctamente siguiendo, de este modo, la metodología PERT.

Por ejemplo, si a la cuestión referente al procedimiento (12,13) del digrafo de la figura 6 se obtiene como respuesta:

"El objetivo se cumple al menos un 85% de veces, lo normal es que se cumpla en un 95% y puede llegar a cumplirse hasta en un 100% de los casos",

y se le ajusta una distribución PERT clásica, obtendríamos que su función de densidad es

$$f(x) = \frac{(x-0.85)^{2+\sqrt{2}}(1-x)^{2-\sqrt{2}}}{0.15^3 B(2+\sqrt{2}, 2-\sqrt{2})}, \quad 0.85 \leq x \leq 1,$$

de donde se deduce que, a un nivel de significación del 5%, la fiabilidad del procedimiento es, al menos, $r=0.88$, aplicando el proceso descrito al final del anexo. Una representación de la beta correspondiente a la función de densidad puede observarse en la figura 7.

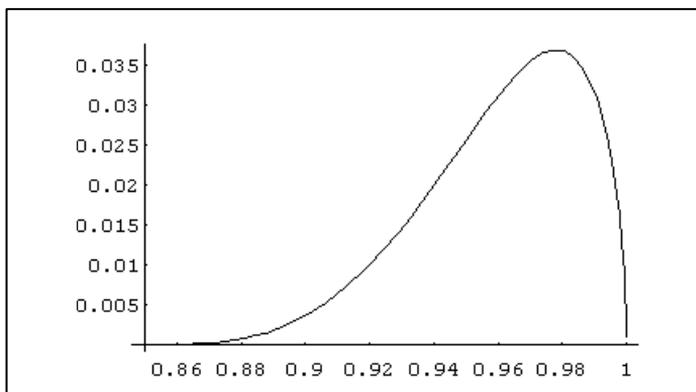


Figura 7. Función de densidad beta (PERT clásico).

En general, si disponemos de la función de densidad beta, $f(x)$, correspondiente al procedimiento actual, y fijamos un nivel de significación α , se busca un valor de fiabilidad mínima, r , que asegure $P(X > r) = 1 - \mathbf{a}$, es decir, $F(r) = \mathbf{a}$. Por tanto, debemos resolver la ecuación en r :

$$\int_a^r f(x) = \mathbf{a}$$

que, haciendo el cambio de variable $z := \frac{x-a}{b-a}$, queda:

$$\int_0^{r^*} \frac{z^{p-1}(1-z)^{q-1}}{B(p,q)} dz = \mathbf{a}$$

ecuación que no tiene resolución exacta. El valor r^* puede encontrarse en las tablas de la Beta estandarizada y, a partir de este valor, podemos encontrar r mediante:

$$r = a + (b-a)r^*$$