

*Cruzando Fronteras:  
Tendencias de Contabilidad Directiva para el Siglo XXI*



**“De la Divina Proporción a las Heurísticas bio-inspiradas:  
Integración de Soft-Computing en la Contabilidad Directiva como  
propuesta de innovación para la investigación y la enseñanza”**

**López González, Enrique**

Universidad de León. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.

Campus de Vegazana s/n. E-24071 León. España

E-mail: [ddeelg@unileon.es](mailto:ddeelg@unileon.es)

**Palabras clave:** Cambio en la Contabilidad Directiva; Innovación en la investigación y la enseñanza de la Contabilidad Directiva; Sistemas Inteligentes de Contabilidad Directiva; Divina Proporción (número de oro); Aplicaciones de Soft-Computing; Heurísticas basadas en la naturaleza; Redes Neuronales; Algoritmos Genéticos; Sistemas de Hormigas; Diseño de Nuevos Productos; Sistemas Inteligentes de Gestión de las Interrelaciones.



**VII Congreso del  
Instituto Internacional  
de Costos**



**UNIVERSIDAD DE LEÓN**



**II Congreso de la  
Asociación Española de  
Contabilidad Directiva**



*"Si no posees la capacidad de cálculo, entonces serás incapaz de especular sobre los placeres del futuro y tu vida no será la de un ser humano, sino la de una ostra"*

Platón, Filebo, 21 (Del Placer).

*"El hecho de que las matemáticas en su conjunto sean consideradas como sinónimo de precisión ha hecho que muchos científicos y filósofos manifiesten una gran preocupación por la imposibilidad de aplicarlas a los problemas del mundo real".*

E. H. Mandani. IEEE Transactions on Computers, 1977, Vol. 26, nº 12, pág. 22.

*"En lugar de una teoría económica entre otras muchas que existen, proponemos un trabajo mucho más honesto: emplear de la mejor manera posible las informaciones disponibles para construir modelos matemáticos intentando engañarnos lo menos posible... a nosotros mismos".*

A. Kaufmann y J. Gil Aluja, "Técnicas Operativas de Gestión para el Tratamiento de la Incertidumbre". Hispano Europea, Barcelona, 1987, pág. 13.

*"Quien sólo sabe de contabilidad, ni de contabilidad sabe."*

F. Becker Gómez, Consejo Doctoral.

*"Si sólo tienes tornillos, busca un destornillador, ¡antes de usar el martillo!"*

J. López Trascasas, Consejo Paternal.

## 1. INTRODUCCIÓN

Estimados compañeros, es un privilegio y un placer tener la oportunidad de dictar esta Conferencia Plenaria cuya hipótesis de partida radica en que la Contabilidad Directiva (CD) puede desempeñar un papel importante en un entorno económico cambiante y global de las organizaciones o unidades económicas (UEs), facilitando la información contable necesaria para alcanzar ventajas competitivas, a través de la aplicación de todo tipo de modelos matemáticos que permitan tanto la anticipación al futuro y evaluación de cursos alternativos de acción como la medición de las actuaciones realizadas y la propuesta de posibles acciones correctoras.

El entorno en el que se desenvuelven las UEs en los últimos años se caracteriza por una mutabilidad constante. De hecho, dista mucho de ser un entorno lineal, gaussiano y estable, por lo que difícilmente resulta factible considerar que la toma de decisiones basada en el comportamiento pasado pueda llevar a un resultado acertado en el futuro, pues el futuro no deja huellas en el pasado. De ahí que ante la incertidumbre y complejidad propias de dicho entorno, se cuestione la necesidad de abrir nuevas perspectivas en dicho ámbito.

Para ello, se intentará evidenciar, en primer término, la necesidad de impulsar estudios interdisciplinarios que permitan desarrollar una concepción de la CD que responda a las exigencias de un nuevo modelo organizacional, plano y flexible, en el que la utilidad, confiabilidad y oportunidad de la información se traduzca en herramienta que añada valor en el proceso, descentralizado e interactuante, de toma de decisiones.

En este sentido, en la segunda sección se analizará la transición en que se encuentra la CD, revisando alguno de los principales factores de cambio y su impacto en la misma, lo que me llevará a proponer una redefinición de la CD, donde se reconoce la oportunidad de servirse de aquellos instrumentos matemáticos susceptibles de permitir una mejor captación de los eventos económicos al objeto de formalizarlos y así poder actuar sobre ellos.

De esta forma, en la tercera sección se evaluará la oportunidad de utilizar analogías inspiradas en la naturaleza para resolver problemas en entornos inciertos y complejos, desde los escritos del "padre de la Contabilidad" hasta las propuestas emergentes basadas en heurísticas bio-inspiradas.

Consecuentemente, en la cuarta sección se llevará a cabo un ejemplo de desarrollo operativo de sistema de CD que atiende a estas consideraciones y que se enfocará en el diseño de nuevos productos basado en un algoritmo genético borroso.

Finalmente, se concluirá con algunas consideraciones positivas acerca de la apuesta de futuro que sobre investigación y docencia de la CD constituyen el propósito implícito de la exposición.

## **2. LA CONTABILIDAD DIRECTIVA EN TRANSICIÓN**

Antes de entrar a describir alguna consideración sobre el cambio en la naturaleza de la CD y su implicación en el rol de los profesionales e investigadores contables, convendría presentar brevemente un resumen de los factores externos que conforman dicho cambio, si bien no se intentará hacer una valoración de la extensión del impacto de cada uno de estos factores externos.

### **2.1. Cambios en el entorno de la Contabilidad Directiva**

Un simple estudio historiográfico de la economía en general y de la gestión empresarial en particular nos permitiría constatar cómo en todas las épocas de transición la propia dificultad de comprender las líneas de fuerza del cambio ha contribuido, en no pocas ocasiones, a mantener o prolongar la situación de crisis que dicha transición conlleva. Por este motivo, al objeto de conocer las nuevas formas de gestión emergentes y el papel que pueda desempeñar entonces la información contable, convendría, en primer término, analizar las causas de la crisis de la organización "fordista" y de la forma de concurrencia asociada, lo que ha supuesto el nacimiento de nuevos modelos de organización empresarial basados en la relación, la personalización, el servicio y la fidelización.

El periodo comprendido desde la II Guerra Mundial hasta la década de 1980 se caracteriza por una lógica competitiva y una morfología industrial conocida con la denominación de "fordismo", debido a que es el sector del automóvil y la línea de ensamblaje introducida por Henry Ford los que definen más claramente dicho modelo y cuyo objetivo radica en la maximización de la eficiencia medida en términos de productividad.

Dicha lógica se basaba en la estabilidad del diseño del producto, donde se trataba de introducir un "estándar" en el mercado sobre el que se desarrollaba el proceso productivo que, una vez estabilizado, buscaba economías de escala que permitían reducir costes y ganar cuota de mercado, en un círculo virtuoso que se interesaba especialmente por innovaciones de proceso, reduciendo las innovaciones en los productos a simples cambios incrementales. De esta forma, el modelo de organización empresarial se caracterizaba por un alto grado de separación de las funciones empresariales, especialmente la función de diseño y desarrollo, pues como los ciclos de los productos eran largos, no urgía tener que introducir nuevos productos con excesiva celeridad y no se necesitaba mantener una estrecha relación con la producción ni con el mercado. De hecho, el crecimiento sostenido de los mercados suponía que el desarrollo tecnológico se orientase simplemente a agotar las posibilidades de las tecnologías ya existentes.

En los años posteriores, distintos factores han promovido una transformación en el modelo de organización empresarial, surgiendo nuevos paradigmas, que consideran los aspectos dinámicos, competitivos y de interacción de todos los componentes del ecosistema económico de la UE, en un intento por superar los

límites que el fordismo planteaba. Entre los principales factores que han transformado el contexto de actuación de la CD cabe destacar los siguientes: (i) los crecientes niveles de competencia; (ii) el incremento en la velocidad de cambio; (iii) la reestructuración de las organizaciones y (iv) el protagonismo del cambio tecnológico en las mutaciones de la oferta productiva.

**A. Aumento del nivel de competición: fragmentación (personalización) y globalización**

Una de las consecuencias más importantes de la agudización de la competencia en el nuevo entorno es la fragmentación creciente de los mercados para especializarse en su base tecnológica y en su relación con los clientes (personalización). De hecho, un acercamiento mucho más próximo a las necesidades de los clientes y usuarios permite, y exige a la vez, un diseño del producto o servicio adaptado, una organización del proceso productivo y una estrategia empresarial sobre nuevas bases, esto es, la nueva forma de organizar la relación producto-proceso-cliente da lugar a una nueva organización de los mercados que se traduce en una fragmentación de los heredados del fordismo.

Por otro lado, la presión de la competencia obliga a la internacionalización de muchos mercados que hasta ahora se mantenían al abrigo de las fronteras nacionales, con lo cual aunque se trata de mercados fragmentados en el sentido de atender una franja más estrecha de necesidades, de forma más individualizada, tales mercados son más grandes (globales), pues su tamaño medido en unidades de producto, número de clientes, etc., es mucho mayor. En efecto, los métodos más rápidos de transporte, con información instantánea, permiten que el mundo se convierta en un gigantesco supermercado, donde el capital fluye con enorme rapidez de un país a otro, de una empresa a otra, en el lapso más breve posible. Así, por ejemplo, si un vehículo de BMW tiene una deficiencia, el mundo lo conoce y puede actuar sobre este problema instantáneamente.

**B. La velocidad de cambio**

La velocidad en la transformación misma constituye otra de las características distintivas del tiempo actual. Durante las etapas pasadas la incorporación y asimilación social y económica de las ventajas asociadas a los nuevos inventos, por un lado, y el asentamiento de los nuevos valores inherentes, por otro, se producía de forma paulatina. Tan es así que los hombres de tales épocas apenas adquirirían conciencia de las mutaciones de fondo asociadas al “largo plazo”, de modo que su percepción del entorno socio-económico apenas variaba en su horizonte de vida. Sin embargo, cada vez más y con mayor fuerza, los movimientos de fondo se precipitan de forma concatenada sucediéndose aceleradamente en el tiempo, hasta el punto de que cualquiera es capaz de recordar, echando la vista atrás en sus propias vivencias personales, algunos episodios que a la luz de la modernidad puedan parecer caducos o incluso arcaicos.

De esta forma, el incremento en la velocidad de cambio impacta principalmente en dos aspectos: la urgencia y la levedad.

En relación con la urgencia, también la presión de la competencia ha supuesto que muchos mercados pasen de ser mercados de oferta a mercados de demanda. De ahí que el tiempo de llegada del nuevo producto al mercado y el tiempo de entrega del producto al cliente se conviertan en un factor competitivo de primer orden, incidiendo tanto a nivel proyecto como a nivel proceso. A este respecto, cabe recordar que el acortamiento del ciclo de vida de los productos es un resultado directo de la conocida “ley de Moore”, propuesta por el fundador de la empresa Intel, que predice que la capacidad de procesamiento de los “chips” del ordenador se iría duplicando cada dieciocho meses, mientras que el coste de producción de tales chips se mantendría constante o disminuiría. Tal predicción se ha ampliado para incluir gran cantidad de productos, de tal forma que ahora los productos no duran mucho tiempo, de ahí que las ventajas competitivas tengan una vida muy corta, obli-

gando a que su potencial deba ser explotado lo más pronto y rápido posible: la sensación de urgencia arrolla cualquier actividad diaria.

Paradójicamente, la necesidad de moverse rápidamente ha reducido el tiempo disponible para el análisis, suscitando la necesidad de disponer de la mejor información posible en orden a conseguir el último centavo de ganancia de un producto o inversión. El problema radica entonces en tomar una decisión que afecta a recursos sustanciales y que tiene que ser llevada a cabo con mínima información y mínimo tiempo, pues los ejecutivos no suelen disponer del tiempo suficiente para que exista toda la información apropiada.

En cuanto a la levedad, es otro de los conceptos que mejor caracterizan el tipo de UE del nuevo entorno, pues se trata de configurar un tipo de organización capaz de dar respuesta rápida a las exigencias del entorno, adaptándose sin perder eficacia; lo cual supone la consideración de dos factores fundamentales: por un lado, la organización del proceso de fabricación y de sus relaciones con el diseño del producto y con el mercado incorporando las tecnologías de la información a dicho proceso y, por otro, la estructuración de una organización flexible de personas a través de la formación y de un diseño organizativo flexible.

En definitiva, el incremento de la velocidad de cambio en el mundo ha incidido drásticamente en la necesidad de desarrollar unos productos con ciclos de vida más cortos (por ejemplo, Microsoft canibaliza sus propios productos en tres años), lo que supone a su vez que las ventajas competitivas sean menos duraderas, presionando a los gestores a llevar a cabo unas actuaciones mejores, más rápidas y decisivas.

### **C. Reestructuración organizativa: eliminación o externalización de servicios que no añaden valor y organizaciones extendidas**

Mientras en la década de los años 80 había una ola de adquisiciones y la creación de conglomerados, después de los años 90 las organizaciones se han movido en la dirección opuesta: la tendencia ha sido el adelgazamiento de las organizaciones, enfocándose en las competencias nucleares y en la externalización de las actividades que no añaden valor, pues una de las respuestas de las empresas ante las exigencias de la nueva dinámica ha consistido básicamente en movimientos de desarticulación o descomponibilidad de las actividades y de recentraje tecnológico-industrial.

En cuanto al primer aspecto mencionado, se puede observar cómo el desbloqueo tecnológico originado por la crisis del modelo fordista desarticula el conjunto de elementos que configuraban los sistemas productivos rígidamente estructurados y altamente eficientes, con lo cual las materias primas, los equipos, la mano de obra, los proveedores y los clientes pueden separarse para dar lugar a cambios, innovaciones, nueva división del trabajo, etc., desplazándose desde una estandarización del producto a una estandarización de los componentes y, por ende, a la máxima explotación de las posibilidades del proceso. Por tanto, el centro de atención no radica ya en la producción de gran volumen, basada en economías de escala, sino más bien en productos más específicos según las necesidades de los clientes. De ahí que las UEs se concentran en aquellas operaciones internas de un pequeño conjunto de actividades críticas, descargándose de aquellos servicios no esenciales que son adquiridos a terceros en la medida que pueden ofrecer ventajas en coste, flexibilidad y el acceso a los últimos avances tecnológicos asociados, es decir, las empresas comienzan un proceso de recentraje tecnológico-industrial, incrementando a su vez el grado de externalización (outsourcing) de las actividades necesarias para conseguir el producto final.

Por otro lado, las redes, alianzas estratégicas y empresas extendidas como modelos de "gestión de la cooperación" se convierten en un factor fundamental para competir en este nuevo entorno económico, pues el principal polo de atención no es la competencia en sí misma, sino que se compite para maximizar la creación de

valor para el cliente, esto es, el objetivo es el cliente y no el competidor: en lugar de centrarse en el competidor, como un enemigo, la gestión emergente se enfoca hacia el cliente, como un socio empresarial.

#### **D. Avances en las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TICs)**

Si la revolución industrial se produjo cuando la máquina sustituyó al músculo y a la fuerza física, en la revolución tecnológica actual lo que se sustituye ya no es el músculo, sino el cerebro. La informática permite reemplazar con más frecuencia un mayor número de funciones del cerebro. La revolución tecnológica en la que estamos inmersos consiste en la “cerebralización” de las máquinas, que a su vez hace posible la conexión en red de las mismas. De este modo, el sistema de comunicación crea una red, una malla que engloba a todo el planeta y que resulta indestructible (tan difícil de destruir como una tela de araña con una bala de fusil), descentralizada y propiedad de todos, lo que permite el intercambio intensivo de informaciones y con ello que el acceso a la información se haya “democratizado” hasta extremos impensables hace tan sólo unos pocos lustros, si bien el proceso se encuentre aún lejos de su conclusión.

Por otro lado, en los últimos años se ha producido una auténtica explosión en el número de patentes que se registran en el mundo, cuyos productos y servicios seguramente modificarán en el futuro la forma en que trabajamos y vivimos. En todo caso, el avance de la tecnología de la información ha supuesto una ampliación sin precedentes de la capacidad de computación alrededor de la organización. Recuérdese que todo el poder de computación del mayor y más poderoso ordenador de hace 30 años se encuentra contenido en el pequeño ordenador que cabe en el bolsillo de la chaqueta.

Abundando en el cambio tecnológico sobresale, a los efectos de la presente exposición, la velocidad y capacidad de los modernos sistemas de bases de datos que proporcionan la disponibilidad de almacenar enormes cantidades de información accesible de formas muy diferentes, permitiendo a varios usuarios acceder simultáneamente a la información almacenada en la base de datos y utilizarla de muy diferentes formas, esto es, ahora es posible diseñar un sistema de información que atienda a las necesidades de distintos usuarios proporcionando “diferente información para diferentes propósitos”, siendo necesaria una única base de datos, pero que es utilizada para producir la información necesaria para diferentes sistemas que están integrados directamente en el sistema de información como un todo. De esta forma, surge una nueva fuente de ventaja competitiva para aquellas empresas que sean capaces de adquirir, elaborar y utilizar información y conocimiento en modo diferencial respecto a la competencia.

Además la revolución digital, junto con la globalización y la liberalización de los mercados, está definiendo lo que se ha venido en denominar “Sociedad de la Información”, cuya base no está sustentada en la producción física de bienes (Economía Industrial), sino en la producción, distribución y utilización de la información y conocimiento (Infosfera); se trata de un nuevo orden socio-económico que comporta transformaciones en la esencia de los sistemas económicos “tradicionales”, cuyas repercusiones abarcan a todos los ámbitos, con reflejo en el mercado laboral y en el comportamiento social y cultural. De este modo, se observa una alteración de conceptos tales como: (i) la distancia, con la desaparición de las barreras físicas; (ii) el tiempo, apareciendo el denominado “Tiempo Internet”, caracterizado especialmente por su futilidad; y (iii) los costes, que se alteran en función de la personalización en masa.

### **2.2. Implicaciones para la Contabilidad Directiva**

Los cambios descritos anteriormente tienen importantes implicaciones en la naturaleza de la CD, particularmente en la forma en que las técnicas tradicionales de CD son ahora utilizadas, como se constata en la propia evolución experimentada en los libros de texto: desde alguno de los considerados clásicos, como por ejemplo Schneider (1968), Rapin y Poly (1978), Becker Gómez (1980), Shillinglaw (1961), a los más actua-

les, como por ejemplo Hilton, Maher y Selto (2000) o Hansen y Mowen (2000). También pueden observarse cambios similares en los contenidos de alguno de los textos más reconocidos, como por ejemplo en Horngren (1962 y 2000), Kaplan (1982 y 1998) y Mallo (1979 y 2000).

A modo de resumen, cabe considerar, sin ánimo de exhaustividad ni completitud, entre otras las siguientes implicaciones en la CD:

La forma en que la información se dispersa cada vez más ampliamente en todos los ámbitos de la organización es uno de los principales efectos que supone el avance de las TICs: cualquier directivo en todos los niveles de la organización con un ordenador puede acceder a la información que busca. Tradicionalmente, los gestores debían solicitar la información que necesitaban a los contables, especialmente la información financiera. Aunque algunos de ellos mantuviesen algún registro, la información formal era mantenida por el sistema contable, de forma que si los gestores debían acceder a alguna información o necesitaban algún análisis particular, debían preguntar a los contables. Sin embargo, en la actualidad el flujo de información más que simplemente ampliarse ha llegado incluso a invertirse, pues, ahora los gestores individuales tienen una gran responsabilidad sobre la información relativa a sus áreas de actividad y, en lugar de preguntar a los contables por la información, son ellos mismos los que la obtienen directamente de sus ordenadores. De esta forma, son los propios contables quienes tienen que utilizar la información almacenada por aquéllos en el sistema integrado de información para producir los informes contables, esto es, pasan de ser "proveedores" de información a ser "usuarios" del sistema integrado de información.

Por otro lado, los avances tecnológicos permiten una desconcentración del conocimiento contable, surgiendo así otra "amenaza" que proviene del número creciente de agentes dentro de una organización que elaboran información, con conocimientos en técnicas y prácticas avanzadas en gerencia estratégica, compitiendo a través de sus campos respectivos del conocimiento. Entre estos agentes se incluyen individuos como informáticos y encargados de la producción.

La tecnología hace que la preparación de información y su disseminación sea barata y permite a los directivos llevar a cabo ellos mismos lo que antes hacían los contables. En efecto, la tecnología ha eliminado el viejo modelo que asumía que la información era cara, cualquier persona, armada con un software de contabilidad, puede convertirse en "todo un contable" y producir información financiera. Las UEs necesitaban contables en el pasado debido a que constituían el principal, sino único grupo, con capacidades "numéricas" para proporcionar los análisis financieros que los directivos necesitaban para sus decisiones. Sin embargo, las hojas de cálculo ahora permiten que cualquier directivo lleve a cabo dichos análisis por sí mismo. Permítanme recordar que cuando era estudiante tenía que pasar muchas horas completando manualmente detallados escandallos de costes, ahora mis estudiantes pueden preparar y revisar extensos presupuestos y análisis de costes en poco tiempo utilizando hojas electrónicas de cálculo (López González y Mendaña Cuervo, 2001).

Además, con una información disponible inmediatamente y una competencia a nivel planetario, los clientes tienen ahora más información que nunca para sus decisiones de compra. El resultado del aumento de la información y la globalización es un mayor y más discriminante poder de compra e influencia, pues los clientes ahora, como nunca antes, pueden dictar los términos de las transacciones de compra, incluyendo los precios, tiempo de entrega y otras especificaciones del producto o servicio. Pero lo trascendente en primer término para la CD es que esta idea del "enfoque en los clientes" supera los límites de la simple compra de bienes y servicios, ampliándose a otras entidades, como por ejemplo el aumento del poder de los usuarios de los sistemas de información contable, pues, ahora los directivos y otros usuarios pueden dictar la clase de información que ellos buscan, cuándo la necesitan y cómo debe ser reportada para los mismos. De hecho, los modernos programas de tratamiento de bases de datos permiten extraer cualquier información del sistema que

ha sido captada en cualquier formato con sentido o interés para los directivos, emergiendo la necesidad de contar con un sistema de información tipo "martini" (donde estés y a la hora que estés), de forma personificada, haciendo realidad la clásica noción de "diferentes costes para diferentes propósitos" sugerida por Clark (1923) y Vatter (1954).

De acuerdo con lo anterior, no resulta extraño el gran esfuerzo que distintas organizaciones y asociaciones profesionales contables llevan a cabo al objeto de determinar las competencias, habilidades y conocimientos que sobre las TICs deberían incluirse en los currícula de sus asociados. Así, por ejemplo, la Guía Internacional de Educación nº 11: "Tecnología de la Información en el Currículo Contable" de la Federación Internacional de Contables ([www.ifac.org/InformationTechnology](http://www.ifac.org/InformationTechnology) y también en [www.aicpa.org/members/div/infotech/itc/acidx.htm](http://www.aicpa.org/members/div/infotech/itc/acidx.htm)) reconoce los cambios y oportunidades derivados del incremento de la importancia de las TICs en la profesión contable (parr. 3-10) e identifica los requerimientos educativos relativos a las TICs, distinguiendo entre pre y pos-cualificación del profesional de la Contabilidad (parr. 19), considerando que éste no sólo tiene que estar capacitado para utilizar los sistemas de información a nivel de usuario, sino que también puede desempeñar un papel importante en el diseño o arquitectura de sistemas, en la administración de los mismos y, como no, en la evaluación de tales sistemas (parr. 15). Otro ejemplo en similar dirección puede comprobarse en la página web: [www.toptentechs.com](http://www.toptentechs.com), donde el Instituto Norteamericano de Contadores Públicos (AICPA) presenta un estudio continuo y permanente de aquellas tecnologías que considera con mayor impacto en su actividad profesional.

Por otro lado, la reestructuración organizativa en organizaciones planas y flexibles ha supuesto entre otros aspectos un cambio de énfasis del presupuesto maestro a las previsiones particulares: los presupuestos se perciben como algo impuesto desde fuera y con una orientación hacia atrás, mientras que las previsiones están orientadas hacia delante y con un enfoque interno y local.

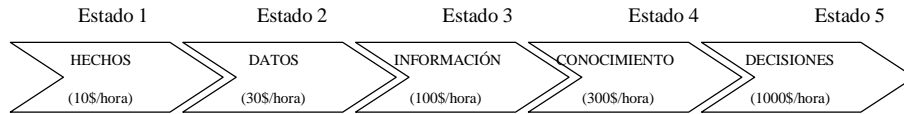
Otra "crítica" a la CD es que su foco es demasiado estrecho e introspectivo. En muchos libros de texto se indica que virtualmente toda la información relevante producida por el contable de la gerencia es altamente cuantitativa e introspectiva, de interés especialmente en el contexto de las operaciones de planificación y control operativos. Sin embargo, si fuera ésta la única información producida entonces los directivos se concentrarían únicamente en cuestiones operativas más que en la política general de la organización.

También existe una cuestión de imagen: Un problema es que el propio termino "contable" presenta en la práctica y por sí mismo una connotación negativa. La contabilidad es percibida como un campo exento de acción y los contables como simples espectadores pasivos que registran el marcador mientras otros juegan. Este problema de imagen puede observarse en el cambio de denominación de la revista del Instituto Norteamericano de Contabilidad Directiva que de "Management Accounting" pasa a denominarse "Strategic Finance", aunque un ejemplo más cercano y reciente se encuentra en la denominación de nuestra propia Asociación Española de Contabilidad Directiva (ACODI) que ahora es conocida como Asociación Española para el Control y Dirección.

En definitiva, la CD ha cambiado demasiado lentamente a pesar de la rápida mutación del entorno tecnológico y organizativo de los últimos años. No obstante, si el responsable de la CD no contribuye directamente al valor del proceso de toma de decisiones, ya no será indispensable. Incluso tampoco será necesario por sus capacidades computacionales, pues los equipos informáticos actuales han facilitado o minimizado el esfuerzo de tales funciones. De hecho, la habilidad computacional de los contables, si bien era una condición necesaria, ahora ya no es suficiente.



En este sentido, Elliott (citado en Albrecht y Sack, 2000) presidente del Instituto Norteamericano de Contadores (AICPA), al referirse sobre el valor que la CD puede y debe proporcionar, identifica en la cadena de valor de la información los cinco estados que se muestran en la Figura 1. En el primer estado se recopilan los eventos del negocio. En el segundo se agregan y registran tales eventos como datos informativos. En el tercer estado se lleva a cabo la manipulación de los datos para proporcionar información significativa. En el cuarto estado se convierte la información en conocimiento de interés para la toma de decisiones. En el quinto y último estado se utiliza dicho conocimiento para hacer decisiones que añadan valor.

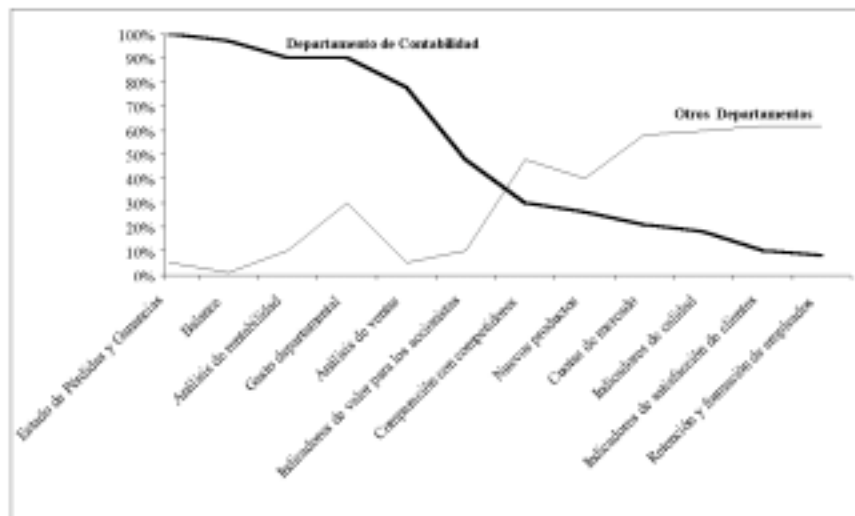


**Figura 1**

De esta forma, Elliott sugiere que los responsables de la CD se enfoquen hacia los servicios de las últimas etapas, con las implicaciones tanto para la investigación como para la enseñanza que ello conlleva.

Tal observación es consistente con la formulada también por Bromwich (1999), ex-presidente de la Asociación Británica de Contadores (CIMA), quien en el VI Congreso del Instituto Internacional de Costos, celebrado en la bella ciudad de Braga, donde al cuestionarse cual era el tipo de información proporcionada regularmente al Consejo Directivo y quien era el departamento responsable de su provisión, presentaba un gráfico como el mostrado en la Figura 2, donde es posible observar como la información interesante, especialmente para la estrategia de la empresa, se encuentra al final de las rectas y no eran precisamente los contables quienes la proporcionaban. Por tanto, según este autor, el desafío o reto de la CD se encontraba en reducir dicho gap, pues si los contables no se involucraban en estos aspectos entonces su relevancia disminuiría.

Aquí hay una clara oportunidad de ampliar el papel de los contables. Si los contables están involucrados en el proceso de gestión necesitan conocer las complejidades del negocio y tener capacidad de interactuar con las personas de todos los ámbitos o partes de la organización.



**Figura 2**

Los contables deben aprender a comprender mejor como hacen o llevan a cabo las decisiones los directivos de su compañía, pues, sólo con un completo conocimiento de cómo toman decisiones los directivos el contable será capaz de crear análisis significativos de alternativas de decisión. De ahí la importancia de enseñar capacidades de resolver problemas y comprender el contexto organizativo en el que se desarrollan las actividades, lo cual es consistente con los resultados del estudio de May, Windal y Sylvestre (1995) donde se indica que más del 96% de los profesores universitarios de contabilidad se muestran de acuerdo con la necesidad de que sus estudiantes sean capaces de resolver problemas no estructurados que requieran múltiples fuentes de información.

Comprender la estrategia de la unidad económica es crítico para la creación de un sistema de contabilidad significativo: un sistema de contabilidad que soporta o apoya la estrategia de la unidad económica crea valor, mientras que un sistema de contabilidad que ignora la estrategia destruye valor. Un sistema de contabilidad crea valor si directamente soporta las decisiones que los directivos llevan a cabo en su trabajo para implementar la estrategia de la UE.

Por tanto, la CD sobrevivirá sólo si se adapta a los cambios del mismo y entonces podrá añadir valor a la organización ayudando a los directivos en sus procesos de decisión, convirtiéndose en un componente activo del sistema que respalda una mejora continua en la organización, utilizando el conocimiento de la recolección de datos y el procesamiento de información que minimice el tiempo que los directivos gastan en elaborar tales análisis. Adicionalmente, la CD puede ayudar a los directivos a formular las definiciones o variables del problema, identificar los datos relevantes para el análisis en cuestión, sugerir fuentes de datos tanto de los distintos sistemas de la UE como de fuentes exógenas a la misma, tales como precios de materias primas o ventas de los competidores, ayudándola a elegir qué actividades debe desarrollar, eligiendo los parámetros de medida de rendimientos que permitan informar a la dirección sobre lo que va bien o no.

En definitiva, el responsable de la CD deberá estar involucrado en todas las etapas de las decisiones directivas, no solamente con un papel de evaluador, no sólo como planificador, sino también como analista, diseñador o arquitecto de sistemas y procesos, comunicador y como gestor de cambios.

De acuerdo con lo anterior, una de las principales oportunidades que se le presentan a la CD es ayudar a reducir o cerrar el gap entre las TICs y la estrategia de la empresa, para lo cual una cuestión de primer orden radicará en cómo convertir la información en conocimiento estratégico, esto es, qué conocimiento debería desarrollar la organización, pues, el hecho de envasar la base de conocimiento compartida con una cantidad de información indigesta es tan poco útil como leer una enciclopedia desde el principio hasta el fin.

La información sólo llegará a ser conocimiento cuando se convierta en una base sólida para la acción. En efecto, los responsables de la gestión no sólo quieren respuestas interesantes, sino que también quieren que iluminen aspectos estratégicos claves y que clarifiquen la dirección a seguir, lo que conlleva de nuevo a la necesidad de que la CD ensanche el rango de la información relevante para incluir datos sobre el ambiente en el que funciona la UE y sobre sus competidores. Esta propuesta emergente hace referencia a una perspectiva estratégica basada tanto en datos internos como externos, superando una perspectiva puramente operativa.

La orientación exógena plantea el desarrollo de actividades de exploración del entorno y de análisis de los competidores, a saber:

La exploración ambiental implica vigilar los progresos tecnológicos que acontecen en dicho entorno, los cambios en las preferencias del cliente, los cambios significativos en los sistemas económicos y en el

mercado. Este escaneamiento del entorno requiere información sobre el ambiente demográfico, legal, ecológico y político en el cual la UE funciona.

En cuanto al análisis de los competidores, parece claro que la UE puede fijar objetivos y estrategias concernientes a sus competidores principales en el contexto de la posición relativa de la misma. Los productos (mercancías o servicios) se pueden ver como un "manejo" de atributos o características que son ofrecidas a los clientes potenciales tanto por la UE como por el resto de competidores. Estas características pueden llegar a ser cruciales para la formulación de las estrategias de la UE e incluyen una variedad de elementos incluyendo precio, calidad, funcionamiento y servicio post-venta.

Así, entre alguno de estos aspectos cabe señalar los tres siguientes: (i) la estructura del mercado: ¿cómo van cambiando las barreras competitivas y evolucionando los segmentos del mercado?; (ii) las respuestas del mercado: ¿cuáles son los conductores del valor y la retención de clientes, y cómo responderán a estos conductores los consumidores, la competencia y los canales?; y (iii) la economía del mercado: ¿en dónde ganamos dinero, y qué cambios mejorarán nuestro rendimiento?, ¿hacia dónde del mercado está migrando el valor y cómo nos afectará a nosotros?.

Por otro lado, además del interés creciente por la información externa, también es necesario tomar una perspectiva estratégica de la información interna. Por ejemplo, una reducción en los beneficios a corto plazo puede ser debida a las acciones emprendidas para aumentar la cuota de mercado y para asegurar ventaja relativa del coste. Si la UE coloca una excesiva importancia en sus beneficios a corto plazo, puede encontrarse poco dispuesta a invertir en mejorar su competitividad. Inversamente, un aumento en los beneficios a corto plazo puede asociarse a una deterioración en su posición estratégica, por ejemplo, precios de venta que son más altos que antes y por encima del nivel competitivo pueden conducir a una reducción en cuota de mercado.

De esta forma, puede comprobarse como una mayor atención a la satisfacción de los clientes no significa que la búsqueda del beneficio no sea importante, los resultados son cruciales, sin ganancias la mayoría de los negocios no sobreviven, pero se puede conceptualizar el beneficio de una forma diferente. La orientación al mercado reconoce que la disponibilidad del negocio a seguir obteniendo beneficios en los ejercicios futuros puede ser más importante que simplemente alcanzar una ganancia en el periodo actual, lo que implica una visión más estratégica y un énfasis en la gestión como capacidad de generar beneficios.

Ahora, las organizaciones más competitivas o "inteligentes" reconocen que existe una incertidumbre inherente e irreducible en las elecciones estratégicas importantes. Saben que pueden tomar mejores decisiones si sus conocimientos sobre el mercado son más explícitos, están fundados empíricamente y están disponibles a nivel de toda la organización, al objeto de que puedan ser examinados críticamente.

### **2.3. Propuesta de redefinición de la Contabilidad Directiva**

El estudio desarrollado en el epígrafe anterior ha permitido constatar como la organización fordista se orienta a la productividad, considerando constante el valor que las prestaciones del producto o servicio tienen para los clientes (un estándar fabricado en grandes series cuya modificación supone enormes costes) y tratando entonces tan sólo de reducir los costes de tales prestaciones. Por el contrario, las organizaciones flexibles, planas y extendidas, se orientan a conseguir ventajas competitivas, tratando de introducir aquellos cambios necesarios para maximizar el valor para el cliente.

Esta transición, de una economía energética (dependiente de la transformación de la materia y, por tanto, realizada en un espacio físico y en un tiempo también poco móvil) a una economía informativa

(dependiente de la creación y transformación del conocimiento y, en consecuencia, realizada en un espacio intangible y en un tiempo igualmente volátil), tiene implicaciones en el papel que ha de desempeñar la CD.

La nueva realidad económica descrita plantea entonces nuevas demandas informativas, entre las que cabe destacar las siguientes: (i) mayor significado informativo en menor volumen de información y reportes; (ii) interpretación y significado práctico en los informes acerca de fenómenos y tendencias del entorno; (iii) la información con una orientación hacia el mercado y hacia el cliente, que contenga tratamientos creativos con la finalidad de hacerla más objetiva y funcional, y hacer así mercadotecnia sobre las bases de datos de dichos clientes; (iv) conocer valores a tiempo real, lo que significa obtener informaciones sobre valores de mercado más que de valores en libros; y (v) diseñar las estructuras de la organización basándose en flujos de información, más que en la forma tradicional de las tareas o actividades que deben desempeñarse en un puesto.

En el pasado se consideraba a los sistemas de información más como manipuladores de números que como armas competitivas, dado que su función era de recolección, procesamiento y análisis de datos que daban cuenta de funciones, eventos y cadenas de actividades que podrían afectar el sentido y resultado de las actividades de la organización para el proceso inmediato de toma de decisiones. El análisis que se hacía entonces comprendía la reducción de los problemas por resolver en subproblemas independientes; entonces la solución del todo no era más que la suma de la solución de sus partes.

Históricamente, la presentación de informes a la administración era periódica sólo para actividades rutinarias. El procesamiento de datos se hacía, en gran parte, en la modalidad por lotes después del cierre de un ciclo operacional; el ejemplo más evidente se refiere a los periodos contables. Se procesaban las transacciones y se actualizaban por completo los archivos para así determinar las condiciones en que operaba la organización. El tiempo necesario para determinar dichas condiciones hacía que, por lo común, los informes se encontraran disponibles después de la conclusión del periodo contable sobre el que giraba el informe y cuando el siguiente ciclo operacional estaba ya bastante avanzado.

En los últimos años se ha avizorado un cambio radical que impacta a la industria y a los servicios, en donde ya no es posible mantener un sistema productivo que lanza al mercado contingentes masivos de productos homogéneos y estandarizados ante una demanda que se diversifica y globaliza, se hace más exigente y requiere de un aparato productivo ágil y flexible que responda con una oferta diferenciada para cada segmento o nicho de mercado, manteniendo bajo el nivel de costes, que permita responder a la aceleración en la innovación tecnológica.

En definitiva, con las estructuras planas y flexibles se avanza hacia la instauración de una comunidad de productores en donde se rompen las barreras entre el trabajo manual y el intelectual, se eliminan las jerarquías y se propician remuneraciones con base a resultados y no en categorías estáticas. En efecto, al objeto de ser competitivas y asegurar su presencia y permanencia en el mercado, las organizaciones requieren desarrollar una ventaja, una diferencia frente a la competencia, de acuerdo con las condiciones bajo las cuales operan, la tecnología que manejan y la calidad y los procesos, más una gestión eficiente. La ventaja competitiva se vuelve fundamental en la estrategia de la organización para participar en su mercado, atendiendo a las nuevas condiciones de apertura, del proceso de globalización de los negocios y de la constante innovación, con lo cual la labor directiva se debe referir al mañana, no al ayer, pues el mañana tiene que ver con lo que hay que hacer, no con lo que ya se ha hecho.

Ante tales condiciones, se plantea la necesidad de propiciar una actividad económica que integre valor/conocimiento, pero sobre todo que genere condiciones que favorezcan el despliegue de la creatividad y la innovación. Con lo cual el conocimiento (aprendizaje organizativo) se convierte en el elemento decisivo para

la generación de un nuevo valor, obligando a que la naturaleza del sistema de información, sus objetivos y funciones, cambien su enfoque.

El desafío es proveer información relevante y necesaria, que facilite hallar las respuestas correctas a las preguntas adecuadas, con una focalización constante en qué debe hacerse "en seguida", lo que implica utilizar algo más que las técnicas financieras tradicionales y datos esencialmente históricos.

En este sentido, algún autor (Kaplan, 1983) ha sugerido una reforma de la CD, argumentando la necesidad de que la misma esté orientada a facilitar una mejora continua y un control total de la calidad, debiendo entonces tratar cada actividad como un proceso e identificar la "fuente" de los costes más que preocuparse tan sólo de los "síntomas". No obstante, y dado que en el nuevo entorno no es suficiente con enfocar la atención al control de las actividades, se precisa también tener en cuenta no sólo las prestaciones que los productos o servicios de tales actividades realizan a sus usuarios, sino también las interrelaciones o interacciones entre los constituyentes del ecosistema en el que se actúa la UE.

En consecuencia, aquí se plantea una *redefinición de la Contabilidad Directiva* entendida como la *gestión inteligente de información para la toma de decisiones*. De esta forma, el *objeto material* de la misma vendrá dado por la realidad organizativa en su conjunto, esto es, la interacción directa de sus componentes (clientes, socios de todo tipo, proveedores y empleados) y su *objeto formal* estará constituido por el tratamiento y análisis de información para la estrategia de la organización ante mercados competitivos, es decir, para facilitar la búsqueda de ventajas competitivas.

A este respecto, cabe poner de manifiesto que las organizaciones deberían considerarse a sí mismas como sistemas totales (holísticos), compuestos de funciones interdependientes que forman un todo unificado. Esta interrelación e integración deberá inspirar entonces a los sistemas de información al objeto de proporcionar un flujo de información de niveles múltiples, creando y fortaleciendo las funciones para apoyar esa interdependencia y posibilitando una mejor comunicación y cooperación entre los departamentos, ayudando a erradicar los feudos departamentales.

De hecho, en aras de facilitar la toma de decisiones estratégicas se deben satisfacer nuevas necesidades informativas que implican atributos del tipo tales como: (i) análisis de fenómenos externos que tengan un efecto en las operaciones de la empresa y en cada uno de sus factores estratégicos clave; (ii) conceptos sobre la empresa vista en su totalidad (no en partes o detalles) que destaquen las interacciones entre los participantes; (iii) proyecciones financieras a corto y largo plazo, explicando no sólo el qué, sino también el porqué de lo que se incluye; (iv) efectos económico-financieros de programas o acciones que se pretendan llevar al cabo; y (v) orientación hacia el futuro, no tanto para predecir eventos futuros como para identificar las probables trayectorias de ciertas tendencias.

Por tanto, a tenor del enfoque aquí propugnado, la CD debería replantear sus funciones y servicios, proporcionando una información más completa, al examinar la organización como un sistema extendido, desde la unidad que le provee de insumos hasta llegar al cliente, pasando por todos los procesos internos de transformación a la distribución y comercialización de los productos terminados.

Este enfoque basado en la "interrelación" presenta a una organización en todos sus aspectos, tanto internos como externos, de forma que se pueda tener una visión integral u holista de la unidad económica en el contexto del ecosistema en el que opera. De esta forma, la CD actuaría como "principal responsable" del Sistema de Gestión de las Interacciones de la Unidad Económica (GIUE) o Enterprise Relationship Management (ERM), que tal como se muestra en la Figura 3, integraría o soportaría los desarrollos informativos vinculados a los cinco aspectos siguientes: la Gestión del Conocimiento (GC) o Knowledge

Management (KM), el Negocio Electrónico (E-Negocio o e-Business), el Sistema Integral de Información (SIG) o Enterprise Resource Planning (ERP), el Sistema de Gestión de la Cadena de Aprovisionamiento (GCA) o Supply Chain Management (SCM) y el Sistema de Gestión de las Interacciones con los Clientes (GRC) o Customer Relationship Management (CRM).

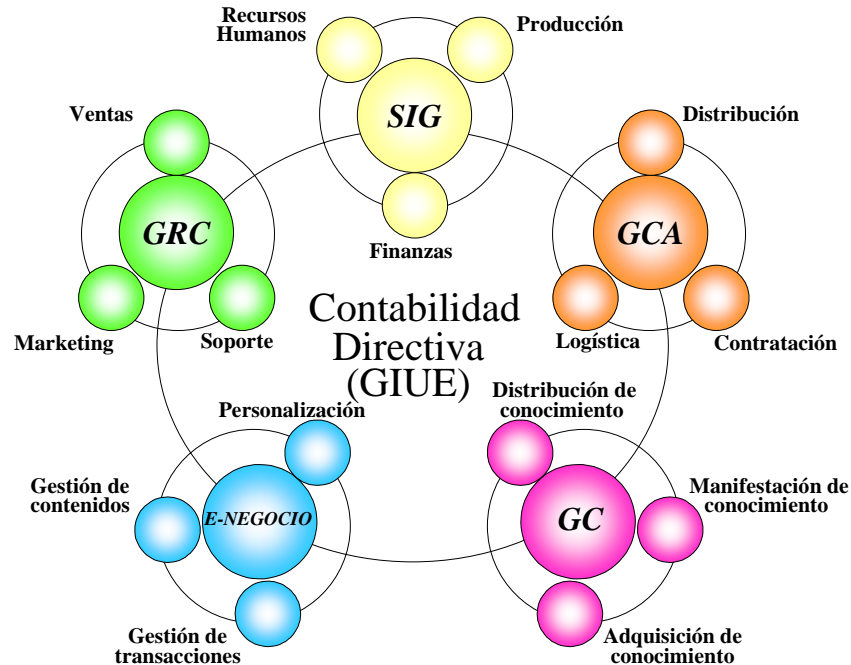


Figura 3

Por otro lado, la CD así redefinida puede considerarse entonces como un método de trabajo intelectual aplicado, pues constituye un ordenamiento para obtener, a partir de fundamen-taciones matemáticas y lógicas, su producto formal: información para la toma de decisiones.

La toma de decisiones de las UEs exige contar con información contable adecuada en orden a facilitar la completa comprensión de la naturaleza, límites, alternativas y consecuencias previsibles de tales decisiones. Por tanto, para cumplir sus objetivos la nueva CD se podrá servir de todas aquellas técnicas o instrumentos matemáticos susceptibles de permitir una mejor captación de los eventos económicos con objeto de poder formalizarlos y así poder actuar sobre ellos, esto es, la CD podrá utilizar aquellas técnicas o instrumentos matemáticos que le permitan convertir los datos contables en información útil para la toma de decisiones.

De este modo, como en el caso del famoso aforismo de Bernard Shaw acerca de que Inglaterra y Estados Unidos empezaban su separación en un lenguaje común, los investigadores y profesionales de la CD se pueden encontrar separados por los instrumentos matemáticos que utilizan para cumplir dicho objetivo.

El decisor empresarial suele enfrentarse a dos tipos principales de problemas, los que están bien estructurados y aquellos que se encuentran mal estructurados, apareciendo sobre todo estos últimos cuando la calidad de los datos no es buena, o cuando se dan circunstancias de tipo cualitativo que, aún siendo comprensibles, por la vaguedad que a menudo conllevan, son difíciles de modelizar con técnicas convencionales. En efecto, para el primer tipo de problemas frecuentemente los modelos matemáticos convencionales son fáciles de obtener y muy efectivos en su aplicación. Por el contrario, los del segundo tipo son problemas muy complejos, por lo que los modelos tradicionales que les pudieran ser aplicados son difíciles de encontrar y, caso

de encontrarlos, muy poco efectivos debido a la falta de adecuación entre la vaguedad y no-linealidad que presentan y las técnicas tradicionales disponibles.

La matemática tradicional ha desarrollado una serie de modelos útiles para aquellos casos en los que se dispone de toda la información necesaria expresada en datos fijos y ciertos. Sin embargo, estos modelos comienzan a plantear dificultades cuando se pretende aproximarlos a la realidad y aplicarlos a situaciones y problemáticas caracterizadas por el continuo cambio y la complejidad, la cual se manifiesta a través de distintos aspectos, entre los que cabe destacar los siguientes:

- Objetivos múltiples. El decisor debe buscar algún criterio que satisfaga un conjunto de objetivos distintos y normalmente incompatibles.
- Tiempo de respuesta. Cada vez más, decisiones con consecuencias importantes a largo plazo deben de adoptarse en un breve periodo de tiempo, si se requiere dar repuesta a un entorno altamente competitivo. Así, los responsables de la toma de decisiones tendrán menos tiempo para consultar más fuentes de información, para analizar más alternativas.
- Información incompleta y limitada. Como consecuencia de ello, es imposible contar con toda la información necesaria para resolver un problema y adoptar una decisión óptima. Y aunque se dispusiese de toda la información, ésta difícilmente podría procesarse.
- Incertidumbre sobre los datos. Muchas decisiones en las organizaciones incorporan la situación previsible del entorno dentro de la información a tener en cuenta, y ésta no se puede conocer si no es en términos aproximados.

En un intento de formalizar este fenómeno la tendencia natural, basada en la representación en términos de certeza de la información disponible, parece alejarse de lo que la propia realidad demanda. De hecho, en algunas investigaciones en este ámbito (Kaplan, 1982; Dopuch, Birnberg, y Demski, 1982; Corcoran, 1983; y Magee, 1986), se han empleado técnicas estocásticas como una solución suplementaria ante la ausencia de otras, las cuales si bien se muestran como herramientas poderosas para determinados problemas, pierden capacidad representativa cuando la información disponible posee altos niveles de subjetividad o vaguedad. De ahí que, ante su escasa capacidad para ayudar a la toma de decisiones en entornos turbulentos, algunos autores han planteado la aplicación de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos. Así, por ejemplo, cabe resaltar la propuesta de Kaufmann y Gil Aluja para quienes “dado que de lo incierto también se puede obtener información, hay que aprovechar esta información por muy pobre que sea, incluso si es escasa, para mejorar el comportamiento”. (Kaufmann y Gil Aluja, 1987, pág. 13).

En efecto, la captación de la realidad ha tenido lugar tradicionalmente a través de razonamientos basados en el concepto de precisión y cuya consecuencia ha sido la formalización de una "realidad modificada", adaptada a tales modelos matemáticos, en lugar precisamente de lo contrario, es decir, una adaptación de dichos modelos a los hechos reales. De hecho, en la medida en que los responsables de la gestión de las organizaciones reconocen que su entorno y, en consecuencia la información que manejan, es ambigua o incierta, parece evidente que prefieran representaciones realistas, aunque imprecisas, frente a modelos sólo supuestamente exactos.

Con frecuencia incertidumbre y aleatoriedad son conceptos que se confunden o se utilizan de manera indistinta. Si bien es cierto que en el ámbito cotidiano dicha confusión no provoca demasiados contratiempos, en el ámbito científico es importante diferenciar ambos términos, ya que la matemática que se aplica en uno u otro caso es distinta. No obstante, conviene poner de manifiesto cómo la tradicional Teoría de Conjuntos y el Álgebra Booleana, con su lógica de pertenencia o no pertenencia, ha permitido la formalización de determi-

nadas situaciones que la realidad plantea, pero existen otras difíciles de modelizar a través de estos esquemas, especialmente ante la necesidad de tomar decisiones en un ambiente en el que la información disponible acerca del estado de la naturaleza en cuestión, los objetivos que se pretenden alcanzar e incluso las consecuencias de las posibles acciones no son conocidos con precisión y la noción de probabilidad no es adecuada para describir dicha realidad, donde se precisa realizar tareas de representación, agregación y comparación de información imprecisa, vaga o lingüística.

De esta forma, en aquellas situaciones que se producen con regularidad, en las que el suceso que se pretende estudiar se repite en el espacio y/o en el tiempo y, por tanto, se puede medir y calcular la probabilidad de que ocurra, asignándole una variable aleatoria y conocer su distribución, es posible la utilización de técnicas estadísticas. Por el contrario, en situaciones en las que no se puede realizar ninguna medida sobre hechos observados, debido a que no existe repetición y ante las que la información disponible es imprecisa o vaga, no cabe hablar de probabilidad sino de posibilidad.

La probabilidad se encarga de un tipo especial de incertidumbre, la aleatoriedad, y este tipo de incertidumbre es objetiva, es decir, se refiere a experimentos que no dependen de la subjetividad de la persona que los realiza. Por otro lado, en nuestro campo de estudio, resulta muy difícil que un fenómeno sea repetible un número suficiente de veces para que sea válida la introducción de la probabilidad.

La incertidumbre no posee leyes, no está estructurada o lo está de forma deficiente, y la forma de explicarla es subjetiva. Un hecho incierto es aquel que hace referencia al futuro y sobre el que los datos pasados aportan muy poca, vaga o ambigua información.

En los intentos por formalizar los comportamientos y actividades económicas actuales ha resultado cada vez más necesario incorporar hipótesis que aún cuando no sean medibles sí pueden ser susceptibles de estimación, comparación y gradación, relación, etc., ya que si una situación no puede ser precisada pero se puede afirmar que es mejor que otra se pasa a un estado superior de conocimiento, esto es, cuando se dice que un futuro acontecimiento es más "posible" que otro se está abriendo un campo fundamental en las perspectivas del razonamiento y de la decisión, pues el conocimiento subjetivo puede ser sometido, prácticamente, a todos los mecanismos de la lógica.

Por consiguiente, si el conocimiento que se tiene del comportamiento de las variables de interés en el proceso de toma de decisiones es impreciso, se debe incluir entonces la noción de nivel de presunción, lo que plantea la necesidad de un acercamiento a aquellas herramientas matemáticas que permitan procesar esa información y trabajar con valoraciones subjetivas. Los números borrosos han sido creados para reflejar la vaguedad de la percepción humana y con ella la noción de presunción. De esta forma, se pueden utilizar nuevos esquemas que permiten una representación más cercana a la realidad, evitando su tradicional deformación cuando se intenta recurrir a la precisión numérica, para lo cual ha contribuido notablemente la elaboración de una teoría de la decisión utilizando instrumentos emanados de la matemática no numérica de la incertidumbre, construida en base a cuatro elementos fundamentales: relación, asignación, agrupación y ordenación. Así, por ejemplo, resulta factible su empleo para "adoptar decisiones sin necesidad de recurrir a elementos numéricos, como sucede en las viejas teorías sobre la decisión" (Gil Aluja, 2000, pág. 42).

De esta forma, se avizora el interés por las denominadas "Técnicas Inteligentes" (Lógica Borrosa, Redes Neuronales y Algoritmos Genéticos, entre otras) cuyas características distintivas de las técnicas operativas convencionales radican en dos aspectos básicos, a saber: (i) en que su principal objetivo es sacar provecho de la tolerancia que conlleva la vaguedad y la incertidumbre propias de los problemas mal estructurados, para alcanzar resultados que sean robustos y comprensibles para los decisores, y (ii) que los algoritmos opera-



tivos de las mismas simulan los mecanismos de la naturaleza para resolver problemas, siendo ésta una fuente inagotable de ideas para el desarrollo técnico y científico.

La dirección hacia donde debería dirigirse la CD fue prevista por Ross (1990), señalando que, tal como se indica en la Figura 4, mientras que en 1990 los contables de gestión utilizaban métodos tradicionales y en el nivel operativo de sus unidades económicas, para sobrevivir en un nuevo mundo tecnológico, deberían empezar a utilizar instrumentos mas sofisticados para poder involucrarse en el nivel estratégico de sus compañías.

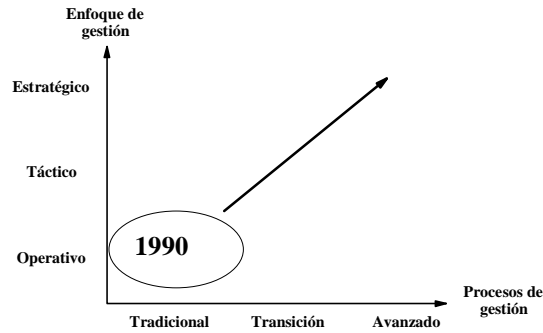


Figura 4

En este sentido, cabe poner de manifiesto que la elección del tipo de sistema más apropiado entre los diferentes sistemas de ayuda a la toma de decisiones depende tanto del tipo de tarea a realizar como del nivel al que se toman las decisiones, pudiéndose distinguir, de acuerdo con Simon (1960), entre decisiones estructuradas y decisiones no estructuradas: las decisiones estructuradas son repetitivas, rutinarias y existe un procedimiento definido para abordarlas, por el contrario, en las decisiones no estructuradas el decisor debe proporcionar juicios y aportar su propia evaluación.

Posteriormente, Gorry y Scott-Morton (1971) propusieron un esquema que relaciona el tipo de decisión (estructurada, semiestructurada y no estructurada) y el nivel organizacional (control operativo, de gestión y estratégico) con la herramienta a utilizar. En el nivel operativo dominan las decisiones estructuradas, en el nivel de gestión las semiestructuradas y en el estratégico las no estructuradas.

En la Figura 5 se recoge una modificación del esquema de dichos autores, incorporando las propuestas formuladas en la presente exposición relativas especialmente los Sistemas Inteligentes de Gestión de las Interrelaciones (SIGIs).

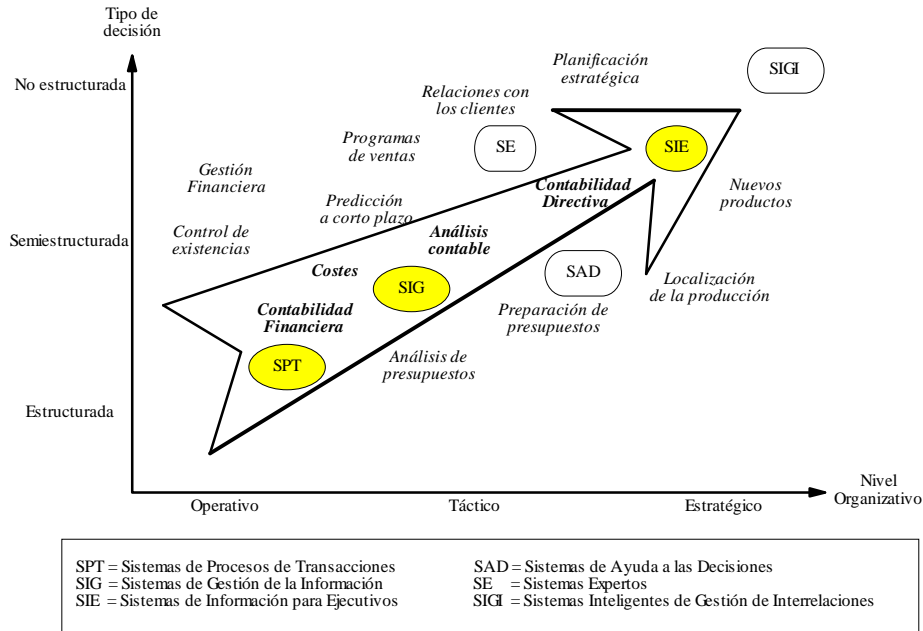


Figura 5

### 3. LA INSPIRACIÓN EN LA NATURALEZA DE LA CONTABILIDAD

La profunda transformación en la forma de entender el sistema productivo, de crear valor, de relacionarse, está teniendo lugar día a día de forma cada vez más precipitada. Pese a que a primera vista pudiera parecer un fenómeno novedoso, no es la primera vez que ocurren cambios drásticos en la forma de organización y producción económica cuyas repercusiones se extienden al ámbito social. A lo largo de la Historia el hombre ha ido adaptándose a las necesidades del momento, tratando siempre de obtener mayores niveles de bienestar; baste recordar en este sentido, la conversión de los nómadas en sedentarios agricultores y ganaderos como uno de los mayores hitos de la humanidad. Asimismo, los grandes avances como la utilización de la rueda, posteriormente la utilización de los metales, la máquina de vapor, etc. alteraron de manera drástica e irreversible la organización social preestablecida, incidiendo en el *modus vivendi* de los hombres de esas épocas.

Esta adaptación al entorno también se puede encontrar en nuestro ámbito, donde la inspiración en la naturaleza constituye en sí misma una característica que se puede encontrar desde los primeros escritos en letra impresa relativos a la Contabilidad, como en la *Divina Proporción* de Luca Pacioli, hasta en la actualidad en algunas propuestas emergentes de las Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, conocidas como *Soft-Computing*, cuyos algoritmos operativos utilizan analogías presentes en la naturaleza para resolver problemas y encontrar soluciones en entornos caracterizados por incertidumbre y altas cotas de complejidad combinatoria, como lo son los Sistemas Inteligentes de Gestión de Interrelaciones (SIGIs).

#### 3.1. La divina proporción

En 1497, un fraile italiano llamado Luca Pacioli escribió *De divina Proportione*, cuyo tema central es lo que los escolares de nuestros días conocen como "regla de tres", la cual era una herramienta básica para los comerciantes del Cuatrocento: servía para determinar las proporciones de capital, tierras, volumen de grano o cualquier otra clase de bienes que le correspondía a cada socio, heredero o copropietario ante un total deter-

minado, facilitando así cómo se repartían los beneficios, de ahí que se la conociese también como "regla de oro o llave del comerciante". De hecho, la educación de la época se centraba, después del aprendizaje básico de la lectoescritura, en las matemáticas, especialmente el cálculo de volúmenes (cuánto grano hay en esa pila, cuánto aceite hay en ese barril) y de las proporciones.

Este insigne matemático franciscano, lo que hizo fue tomar un tipo de regla de tres, que, partiendo de una unidad arbitraria permitía la construcción de proporcionalidades tanto de múltiplos como de submúltiplos (intervalos mayores y menores), pues aseguraba que la naturaleza y el arte que la limita se deben ambas al mismo principio matemático, de tal forma que poliedros y cosas físicas se corresponden gracias a una *proporción divina*. Divina *conveniencia* porque tiene expresión gráfica comprensible, pero no expresión numérica racional. Se podría decir que el *número de oro* puede verse, pero no medirse. Interesante exploración que, empeñada de lleno en el célebre debate del Cuatrocento para demostrar que el arte era una ciencia, proponía ya la validez intelectual de aquello que escapa a la pulcritud numérica de la lógica.

De hecho, Hauser (1980), al referirse al racionalismo naturalista del siglo XV, señala "en el Renacimiento lo nuevo no era el naturalismo en sí, sino los rasgos científicos, metódicos e integrales del naturalismo....por bello se entiende la concordancia lógica entre las partes singulares de un todo, la armonía de las relaciones expresadas en un número, el ritmo matemático de la composición, la desaparición de las contradicciones entre las figuras y el espacio, y las partes y los espacios entre sí....".

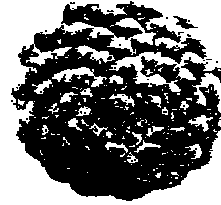
Quizás por ello Pacioli llamó *divina* a la proporción de las cosas y *áureo* al número encargado de explicar esta relación proporcional entre la construcción exacta y el significado profundo. Medir no era simplemente contar sino relacionar las cosas con medida. El propósito de las *artes liberales*, las de la palabra y las del número, no era otro sino saber componer los significados y las cantidades ordenadamente, con medida y proporción. Saber, en el Cuatrocento era el arte de conocer el orden proporcional de las cosas; no se trataba tanto de "tener información" como de saber ordenarla. En efecto, tener *in-formación* es llegar a ser *uni-forme*, saber lo que otros saben, es decir, saber "lo que hay que saber", pero para poder *com-unicarla* se precisa conocer, es decir, *con-nacer* con las cosas, verlas desde su articulación primera, no desde su apariencia externa epidérmica, descriptible y memorizable.

Por otro lado, la inspiración en la naturaleza de la "divina proporción" se puede constatar a su vez recordando la famosa serie de Fibonacci (Leonardo de Pisa, 1170-1240): Considérese la siguiente sucesión de números: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34... Cada número a partir del tercero, se obtiene sumando los dos que le preceden. Por ejemplo,  $21 = 13 + 8$ ; el siguiente a 34 será  $34 + 21 = 55$ . Esta sucesión es la llamada "sucesión de Fibonacci". Pues bien, los cocientes (razones) entre dos números sucesivos de la sucesión, se aproximan más y más al número áureo (1'61803...).

Fibonacci ideó esta serie para describir el número esperado de conejos tras  $n$  generaciones (partiendo de dos y haciendo unas cuantas suposiciones acerca de las tasas de reproducción, supervivencia y muerte), con la intención de definir con precisión lo que se entiende por "reproducirse como conejos". A los matemáticos les encanta jugar con números y descubrir pautas, por lo que no sería extraño que cuando la dedujo estuviera pensando en patrones. Pero lo cierto es que en esta sucesión los pares sucesivos describen la mayoría de espirales observadas, como las del girasol o la piña tropical y también aparece en el estudio de las leyes mendelianas de la herencia, en la divergencia foliar, en la formación de la concha de algunos moluscos (Figura 6) o los conos de las coníferas (Figura 7), que cualquiera puede confirmar por sí mismo.

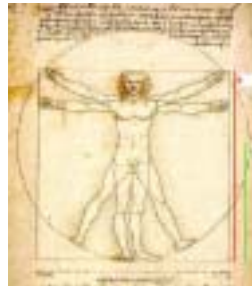


**Figura 6**



**Figura 7**

Otro ejemplo muy conocido en este sentido puede encontrarse en "el hombre ideal" de Leonardo, donde el cociente entre el lado del cuadrado y el radio de la circunferencia que tiene por centro el ombligo, es el número de oro, tal como se muestra en la Figura 8 que recoge su famoso "canon de las proporciones".



**Figura 8**

### 3.2. Heurísticas Basadas en la Naturaleza: Técnicas de búsqueda y optimización

#### 3.2.1. Introducción

En la última década se ha producido, en prácticamente todos los campos del quehacer científico, una importante transformación conceptual y metodológica ligada íntimamente al estudio de los llamados fenómenos no-lineales cuyo análisis se engloba, parcialmente, dentro de las llamadas ciencias de la complejidad o de los sistemas complejos. Como parte de esta nueva visión, se ha puesto en evidencia que diversas propiedades espacio-temporales de los sistemas complejos surgen espontáneamente a partir de interacciones entre los elementos constituyentes, en escalas de tiempo y longitud considerablemente mayores que las escalas en las que ocurren dichas interacciones. Estas propiedades, denominadas "propiedades emergentes", han comenzado a ser estudiadas con una familia nueva de herramientas y conceptos originadas en la interacción interdisciplinaria de varios campos de la ciencia, desde la física, la biología, la química, la economía, la sociología, etc.

Los sistemas complejos están formados por un conjunto grande de componentes individuales que interactúan entre sí y que pueden modificar sus estados internos como producto de tales interacciones. Tales sistemas pueden ser estructuralmente simples, aunque tal simplicidad no impide que exhiban comportamientos dinámicos diversos y no triviales. Asimismo, los sistemas complejos pueden situarse en regímenes críticos caracterizados por la presencia de fluctuaciones espaciales y temporales en todas las escalas posibles. Esta situación crítica puede alcanzarse espontáneamente y sin la intervención de factores o fuerzas externas al sistema, estableciendo entonces lo que se denomina "proceso autoorganizado".

El proceso de interacciones puede generar comportamientos colectivos y globales, es decir, conductas que no están definidas en los elementos individuales, pero que emergen como un proceso colectivo y que no pueden ser reducidas ni explicadas tomando aisladamente a los elementos constituyentes.

En la naturaleza existe un elevado número de ejemplos de sistemas complejos que van desde las reacciones químicas autocatalíticas, hasta los procesos sociales y culturales. La naturaleza posee una fuerte tendencia a estructurarse en forma de entes discretos excitables que interactúan y que se organizan en niveles jerárquicos de creciente complejidad; por ello, los sistemas complejos no son de ninguna manera casos raros ni curiosidades sino que dominan la estructura y función del universo. Tales sistemas constituyen y se manifiestan en la inmensa mayoría de los fenómenos observables. Sin embargo, y aquí radica una de sus propiedades más interesantes, la abundancia y diversidad de los sistemas complejos (sean de tipo físicos, químicos, biológicos, sociales, etc.) no implica una innumerable e inclasificable diversidad de conductas dinámicas diferentes. Todo lo contrario, los sistemas complejos poseen propiedades genéricas, independientemente de los detalles específicos de cada sistema o de la base material del mismo.

Debido a la gran cantidad de sistemas complejos existentes en la naturaleza, en los últimos años, una parte de la comunidad científica ha desarrollado el interés por el estudio y aplicación simulada a otro tipo de problemas, de los mecanismos existentes en la naturaleza que se enfrentan a determinados problemas (Kaufmann y Gil Aluja, 1995).

Uno de los más importantes y prometedores campos de investigación han sido las denominadas “Heurísticas basadas en la Naturaleza” (HBNs), un área cuya denominación surge debido a que simulan los mecanismos de la naturaleza para plantear la resolución de problemas, esto es, se basan en emplear analogías con sistemas naturales o sociales, al objeto de diseñar heurísticos no determinísticos de “búsqueda”, “aprendizaje”, “comportamiento”, etc., al considerar la naturaleza como fuente de ideas para el desarrollo técnico y científico.

De acuerdo con lo anterior, a continuación se propondrá una taxonomía que pudiera presentar alguna utilidad para entender mejor las direcciones que siguen las actuales líneas de investigación en este campo. Conviene, no obstante, poner de manifiesto previamente que en la definición de este tipo de algoritmos, la metáfora “natural” hace referencia a los sistemas derivados de las ciencias físicas, biológicas y sociales. Por su parte, las heurísticas se obtienen: realizando un cierto número repetido de experimentos, utilizando uno o más “agentes” (neuronas, cromosomas, hormigas, etc.), operando (en el caso de múltiples agentes) con un mecanismo de competición-cooperación e incluyendo procedimientos de automodificación de los parámetros de la heurística o de la representación del problema.

Una aproximación a la evolución natural permite establecer los mecanismos básicos de la misma, a saber: la selección que premia a los individuos más fuertes y penaliza a los más débiles, y la mutación, que introduce elementos aleatorios y permite el nacimiento de nuevos individuos. En las HBNs se plantea una situación similar: la selección es la idea básica para la optimización mientras que la mutación es la idea básica para la búsqueda no determinística.

Entre las características principales de las HBNs cabe distinguir las siguientes: (i) modelan (de forma aproximada) un fenómeno existente en la naturaleza; (ii) son no determinísticas; y (iii) son adaptativas, esto es, la capacidad del sistema para utilizar realimentación de la información a través de la modificación de sus parámetros y su modelo interno.

Las características anteriores facilitan un “comportamiento razonable” para el sistema, que se podría definir como “inteligente” (capacidad para resolver problemas difíciles) que, en otros términos, significa la producción de buenas soluciones para un problema de optimización combinatorial. Todas las aproximaciones para resolver este tipo de problemas de manera exacta están basados en una enumeración implícita de las soluciones factibles y, por tanto, requieren, en el peor de los casos, un número exponencial de pasos en aras

de facilitar la exploración del espacio de soluciones y, consecuentemente, para ganar seguridad en la optimalidad de la solución encontrada.

Entre las principales características que se persiguen equilibrar en la construcción de algoritmos heurísticos resaltan las dos siguientes: (i) el grado de explotación, es decir, la cantidad de esfuerzo empleado por la búsqueda local en la región actual del espacio de búsqueda (si una región es prometedora, la búsqueda se hace más a fondo); y (ii) el grado de exploración, esto es, la cantidad de esfuerzo gastado por la búsqueda en regiones distantes del espacio (en ocasiones se elige una solución en una región lejana y se acepta una solución peor para tener la posibilidad de descubrir nuevas soluciones mejores).

Las dos posibilidades anteriores presentan un conflicto en la construcción de este tipo de algoritmos, de forma que es preciso tratar de establecer un equilibrio entre ambas el cual se debe ajustar en cada algoritmo. Asimismo, la construcción de algoritmos heurísticos debe estar presidida por un equilibrio entre el esfuerzo requerido o eficiencia (entendido como número de iteraciones) y la eficacia (valor final de la solución).

### **3.2.2. Redes Neuronales Artificiales**

Las Redes Neuronales Artificiales (RNAs), se comportan imitando el funcionamiento del cerebro humano, basado en el aprendizaje a través de la experiencia, con la consiguiente extracción de conocimiento a partir de la misma, con lo cual las RNAs no solucionan problemas a través de una secuencia de pasos sino que, de forma análoga al cerebro, utilizan la combinación de una gran cantidad de elementos simples de proceso (neuronas) interconectados entre sí (sinapsis) que operan en paralelo.

La teoría y modelado de RNAs se basa en la estructura y funcionamiento de los sistemas nerviosos biológicos; donde las neuronas (cuya etimología griega es “célula nerviosa”), como se muestra en la Figura 9, constituyen la unidad fundamental del sistema nervioso de los seres vivos, y particularmente del cerebro. Considerando su tamaño microscópico resulta absolutamente sorprendente su capacidad como procesador de señales eléctricas y su complejidad bioquímica.

Una neurona es una célula viva y, como tal, contiene los mismos elementos que forman parte de todas las células biológicas, si bien incluye además elementos característicos que la diferencian. En general, una neurona consta de un cuerpo celular más o menos esférico, de 5 a 10 micras de diámetro, del que salen una rama principal, el axón, y varias ramas más cortas, llamadas dendritas. A su vez, el axón puede producir ramas en torno a su punto de arranque, y con frecuencia se ramifica extensamente cerca de su extremo.

Una de las características que diferencian a las neuronas del resto de las células vivas es su capacidad de comunicarse. Así, en general, las dendritas reciben señales de entrada (inputs) procedentes de otras neuronas o bien de estímulos nerviosos exteriores. Estos inputs pasan al cuerpo celular, que los combina e integra (a través de funciones no lineales), emitiendo señales de salida a través del axón; dicho axón se encuentra conectado a través de sus ramificaciones a las dendritas de otras neuronas, que reciben estas señales y, siguiendo el proceso descrito, las combinan para producir nuevas salidas propagadas a través de sus axones a nuevas neuronas, etc.

La conexión entre el axón de una neurona y las dendritas de otra se llama sinapsis y determina la fuerza y tipo de relación entre las mismas. En general, como se muestra en la Figura 9, se estima que una neurona recibe información de miles de otras neuronas, transmitiendo dicha información, previamente procesada, a miles de neuronas más.



**Figura 9**

El hecho de que unas determinadas sinapsis sean excitadoras o inhibitoras y que tengan una mayor o menor importancia con respecto a la entrada total a la neurona, es establecido biológicamente a través del aprendizaje. Así, a medida que se va adquiriendo conocimiento las conexiones interneuronales (sinapsis) van modificando sus características, adaptándose con el fin de provocar respuestas satisfactorias ante la presencia de estímulos.

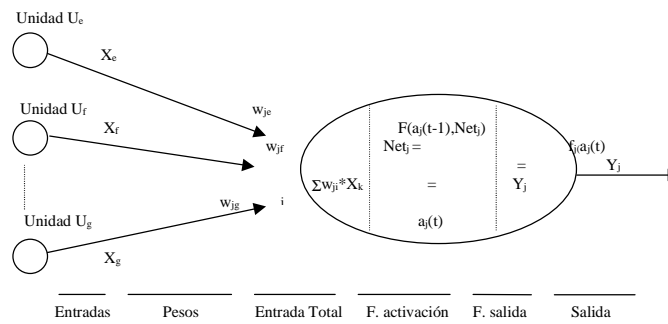
Por otro lado, una Red Neuronal Artificial (RNA) puede considerarse como un modelo matemático de las "teóricas" actividades mentales y cerebrales. Estos sistemas explotan el procesamiento local en paralelo y las propiedades de la representación distribuida, aspectos que al parecer existen en el cerebro biológico.

En este sentido, una RNA puede concebirse como una colección de procesadores elementales (neuronas), conectadas a otras neuronas o entradas externas y con una salida que permite propagar las señales por múltiples caminos. Cada procesador pondera las entradas que recibe, y estos pesos pueden ser modificados con el fin de conseguir el objetivo previsto, con lo cual una RNA puede "aprender" de sus propios errores. Por tanto, se trata de un Proceso Inductivo a partir de un conjunto de ejemplos de lo que se quiere aprender, frente al Proceso Deductivo, propio de los Sistemas Expertos.

Las RNAs imitan el funcionamiento del cerebro humano, basado en el aprendizaje a través de la experiencia, con la consiguiente extracción de conocimiento a partir de la misma; de ahí que no solucionan problemas a través de una secuencia de pasos sino que, mimetizando el comportamiento del cerebro, utilizan la combinación de una gran cantidad de elementos simples de proceso (neuronas) interconectados entre sí (sinapsis) que operan en paralelo. Así, puede definirse una RNA como: "un sistema o conjunto de procesadores elementales interconectados, no lineal ni estacionario, que realiza al menos alguna de las siguientes funciones: Aprendizaje, Memorización, Generalización o Abstracción de características esenciales".

Los modelos de RNAs combinan modelos matemáticos de las células nerviosas y modelos de arquitecturas que describen las interconexiones que existen entre estas células. Al igual que en el sistema nervioso, una red neuronal se configura a base de interconectar un conjunto de neuronas de forma que las salidas de unas constituyen las entradas de otras.

En este sentido, se supone que la información que recibe una neurona artificial, procedente de todas aquellas otras a las que se encuentra conectada, puede identificarse por un número que mide la frecuencia de la excitación del procesador. De esta forma, la integración de todas las excitaciones se reduce a un proceso de suma de los diferentes valores, afectados de unos coeficientes de ponderación, denominados pesos sinápticos. El resultado de esta suma representa la actividad interna de la célula, sirviendo de base para el cálculo de la señal que posteriormente será transmitida a posteriores neuronas. El esquema general de comportamiento de una neurona artificial aparece recogido en la Figura 10.



**Figura 10**

Los pesos sinápticos miden la intensidad de la sinapsis o conexión entre las neuronas receptoras y transmisoras y, al igual que en el caso de las neuronas biológicas, su función básica consiste en el almacenamiento de información. Así, puede decirse que cada una de las neuronas componentes de la red almacena una cantidad muy pequeña de información, la denominada memoria de trabajo a corto plazo, mientras que la memoria a largo se acumula en los pesos sinápticos, ya que éstos son los que determinan el carácter excitador o inhibitorio de las entradas y de las diferentes relaciones neuronales, así como su importancia relativa.

De acuerdo con lo anterior, el aprendizaje tiene lugar mediante la conveniente modificación de las conexiones neurales. De esta forma, puede definirse dicho aprendizaje como el proceso por el cual una red neuronal modifica sus pesos en respuesta a una información de entrada. Los cambios que se producen durante el proceso de aprendizaje se reducen a la destrucción, modificación y creación de conexiones entre las neuronas, entendiéndose por destrucción el proceso por el cual un peso pasa a tener valor 0 y por construcción el paso del valor 0 a un valor distinto de cero, si bien en algunos modelos de redes la construcción hace referencia también a la introducción de nuevas neuronas en la red, con los consiguientes pesos asociados y la destrucción a la salida de neuronas de la red, con la desaparición de los pesos a ellas vinculados.

Durante el proceso de aprendizaje los pesos de las conexiones de la red sufren modificaciones, por lo que se puede afirmar que el aprendizaje ha terminado cuando los valores de los pesos permanecen estables; en la práctica, en la mayoría de las redes, esto ocurre cuando el error acometido por la red es inferior a un determinado límite previamente fijado (5%, 3%, etc.) o bien cuando el número de épocas, esto es, las vueltas o veces en las que los ejemplos de entrenamiento son presentados a la red para que ésta “aprenda”, supera un determinado valor.

Por lo que respecta al modo concreto en que se efectúa tal aprendizaje, el mismo depende del tipo de utilización que se pretenda implementar en la red, si bien en cualquier caso el aspecto esencial es que el ajuste se hace teniendo presentes de forma exclusiva los datos del problema que se quiere resolver, esto es, sin llevar a cabo clasificaciones previas de los mismos ni la formulación de hipótesis de partida que presupongan un modelo de cómo se relacionan. De esta forma, tal como se muestra en la Figura 11 es posible distinguir básicamente dos tipos de aprendizaje: (i) el aprendizaje supervisado, en el que los outputs relacionados con los ejemplos de aprendizaje son conocidos a priori; y (ii) el aprendizaje no supervisado, donde no se conocen las correspondientes salidas del sistema.



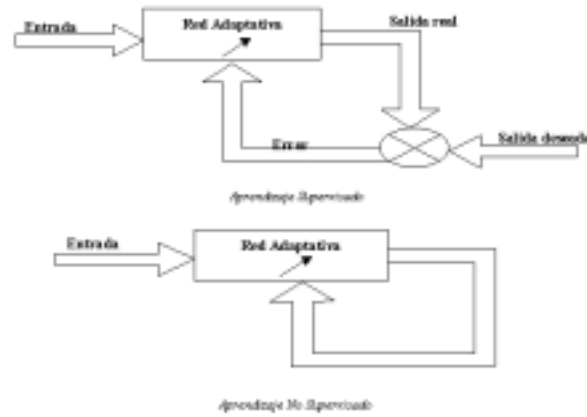


Figura 11

### A. Aprendizaje supervisado

Este tipo de aprendizaje es típico de las redes concebidas para el ajuste de datos o la clasificación de ítems etiquetados. Este tipo de entrenamiento se puede llevar a cabo a su vez de tres formas diferentes, a saber:

1. Aprendizaje por corrección de error: Se basa en el ajuste de los pesos sinápticos en función de la diferencia entre los valores deseados y los obtenidos en la salida de la red, esto es, según el error cometido. Para ello es necesario definir con carácter previo la función de error a emplear, siendo la más comúnmente utilizada la función del error cuadrático medio.
2. Aprendizaje por refuerzo: Este aprendizaje supervisado, más lento que el anterior, se basa en la premisa de no indicar durante el entrenamiento exactamente la salida deseada ante una determinada entrada, sino únicamente calcular una señal de refuerzo, según el ajuste o no de la salida obtenida a la deseada, llevándose a cabo posteriormente el ajuste de los pesos según un mecanismo de probabilidades.
3. Aprendizaje estocástico: Consiste básicamente en la realización de cambios aleatorios en los valores de los pesos de las conexiones de la red, evaluando posteriormente su efecto a partir del objetivo deseado y de la distribuciones de probabilidad. Así, si el error cometido es menor con los nuevos pesos, se acepta el cambio, mientras que, si es mayor, puede llegar a aceptarse en función de una determinada y preestablecida distribución de probabilidades, con el objetivo de escapar de mínimos locales (mecanismo conocido como “simulated annealing” o “temple simulado”).

Aún cuando existen múltiples redes neuronales cuyo mecanismo de aprendizaje se basa en la presentación al sistema de pares de datos entrada-salida, donde los outputs deseados son conocidos a priori durante la fase de entrenamiento, cabe destacar el Perceptrón Multicapa (MLP) con aprendizaje de retropropagación de error (Backpropagation), una de las redes más comúnmente aplicadas en la resolución de problemas empíricos. A este respecto, cabe señalar que Rumelhart, Hinton y Williams (1986), basándose en los trabajos de Werbos (1974) y Parker (1982) formalizaron un modelo para que una red neuronal aprendiera la asociación existente entre los patrones de entrada a la misma y las salidas correspondientes, utilizando para ello más niveles de neuronas que en el caso del Perceptron Simple (una sola capa).

## **B. Aprendizaje no supervisado**

Las redes que utilizan este tipo de aprendizaje no necesitan conocer las salidas deseadas para los diferentes ejemplos presentados, sino que son capaces de autoorganizarse. El objetivo de estas redes es encontrar las características, regularidades, correlaciones o categorías que pueden establecerse entre los datos presentados a la entrada.

En algunos casos, la salida representa el grado de familiaridad o similitud entre la información que se está presentando a la entrada y las informaciones que se le ha presentado en el pasado; en otros casos, estos modelos pueden llevar a cabo clusterizaciones de los datos, indicando la red a qué categoría pertenece la información presentada, dentro de las categorías que autónomamente ésta establezca según las correlaciones entre los ejemplos presentados. Adicionalmente, el aprendizaje sin supervisión puede permitir llevar a cabo una codificación de los datos de entrada, generando una salida de menor dimensión que mantenga la información relevante de los datos. Por último, algunas de estas redes llevan a cabo un mapeo de características, obteniéndose en las neuronas de salida una disposición geométrica que representa un mapa topográfico de las características de los datos de entrada, donde ante informaciones de entrada similares las neuronas afectadas de salida estarán próximas entre sí.

En cuanto a los algoritmos de aprendizaje no supervisado, cabe destacar básicamente los dos siguientes:

- Aprendizaje hebbiano: El ajuste de los pesos se lleva a cabo básicamente de acuerdo con la correlación de los valores de salida de las dos neuronas conectadas, aunque sin tener en cuenta si esas salidas eran o no las deseadas.
- Aprendizaje competitivo y cooperativo: En las redes que utilizan este tipo de aprendizaje se considera que las neuronas compiten (y cooperan) unas con otras con el fin de llevar a cabo una tarea dada; con lo cual, sólo una de las neuronas de salida de la red, o una por cada cierto grupo de neuronas, puede estar activada, quedando anuladas el resto. La competición se realiza en todas las capas de la red, existiendo conexiones recurrentes de autoexcitación y conexiones de inhibición entre neuronas de la misma capa; no obstante, si el aprendizaje es cooperativo, tales conexiones son de excitación. El aprendizaje afecta sólo a las neuronas ganadoras, por lo que la variación del peso de una conexión entre una unidad  $i$  y otra unidad  $j$  será nula si la neurona  $j$  no vence en presencia de un estímulo por parte de  $i$ , y se modificará en caso contrario.

Las RNAs con aprendizaje no supervisado pretenden emular el comportamiento de un tipo específico de neuronas cerebrales humanas que se organizan internamente en zonas, formando mapas bidimensionales. Aunque el origen de tal organización es incierto, se supone que en gran medida una parte de la misma se encuentra predeterminada genéticamente, generándose otra parte vía aprendizaje. Así, el cerebro podría incluir la capacidad inherente de formar mapas topológicos de las informaciones recibidas del exterior. A partir de estas ideas, Kohonen (1982) desarrolló un modelo de red con un sistema semejante, capaz de formar mapas de características, cuyo objetivo era demostrar que un estímulo externo por sí solo, suponiendo una estructura interna y una descripción funcional del comportamiento de la red, era suficiente para forzar la formación de los mapas. En definitiva, se trataba de deducir de forma automática la clasificación más natural de los datos, utilizando únicamente sus semejanzas intrínsecas. De acuerdo con lo anterior, la red debe descubrir por sí misma las características típicas, regularidades o categorías en los datos que se le presentan y ponerlas de manifiesto en la salida, de ahí que estas redes se empleen normalmente en tareas donde, al existir un número muy elevado de datos, se precisa reducir la complejidad de la información, o bien en la detección de patrones de comportamiento implícitos en el conjunto total de individuos.

### **3.2.3. Algoritmos Genéticos**

Los Algoritmos Genéticos (AGs) son métodos basados en el proceso genético de los organismos vivos, en el que los individuos de una población compiten entre sí, de forma que aquellos individuos con mayor éxito para sobrevivir tienen mayor probabilidad de generar un gran número de descendientes mientras que los pocos dotados darán lugar a un número de descendientes menor. En definitiva, esto significa que los genes de los individuos mejor adaptados se propagan en las generaciones siguientes hacia un número de individuos creciente, provocando que los individuos posteriores (“hijos”) tengan una adaptación mayor que la de sus progenitores (“padres”). De esta forma, las especies evolucionan logrando unas características cada vez mejor adaptadas al entorno en que se desarrollan.

La Evolución es un proceso no-dirigido, esto es, no existen pruebas científicas de que el proceso evolutivo esté encaminado a la consecución de un objetivo final. Más bien, puede verse como un proceso reactivo, en virtud del cual los organismos cambian en respuesta a las variaciones del entorno. En este sentido, cabe recordar que los principios básicos de la evolución de los seres vivos surgen a mediados del s. XIX, los cuales se asientan en la Teoría de la Selección Natural de Darwin en 1859 y los trabajos sobre Herencia Genética de Mendel en 1865.

Los AGs fueron introducidos por Holland (1975) como algoritmos de búsqueda que utilizan la metáfora de las poblaciones de genes. En la comunidad de los AGs, un problema de optimización se traslada al problema de encontrar la mejor adaptación de un individuo (llamado cromosoma) dentro de una población. La adaptación se mide por una función de fitness o función de adaptación (bondad), que está relacionada con la función objetivo del problema que se desea resolver. El AG opera sobre la población modificando sus componentes. Las modificaciones ocurren de acuerdo a unas reglas genéticas implementadas a través de los operadores genéticos (cruce y mutación). Los individuos son el equivalente a las soluciones y una población es un conjunto de  $N$  individuos. Cada individuo consiste en una colección (generalmente una cadena) de elementos atómicos llamados genes. Cada gen puede tomar valores dentro de un conjunto predefinido. De esta forma, el comportamiento natural traducido en los AGs presenta las siguientes fases:

En primer término, se genera una población de individuos cada uno de los cuales representa una solución factible al problema que se desea resolver.

En función de la bondad de la solución que representa cada individuo, se le asigna una valoración que en definitiva establece el grado de efectividad del individuo para competir por unos determinados recursos. Cuanto mayor sea la adaptación de un individuo mayor será la probabilidad de que dicho individuo sea seleccionado para reproducirse y, en consecuencia, para que su material genético se propague en sucesivas generaciones.

El proceso de reproducción se realiza cruzando el material genético del individuo con el de otro individuo seleccionado de igual forma, generando una nueva población que reemplaza a la anterior con la ventaja de que esta población contiene una mayor proporción de buenas características que la anterior.

A través de sucesivas generaciones las nuevas poblaciones estarán mejor adaptadas que las poblaciones de las que provienen sin más que favorecer el cruce de los individuos con mejores características, ya que de esta forma se van explorando las áreas más prometedoras del espacio de búsqueda. Si el AG está bien diseñado, en un tiempo razonable la población convergerá hacia una solución óptima del problema.

En consecuencia, las fases de un AG se pueden resumir en el esquema que muestra la Figura 12.



Figura 12

De acuerdo con lo anterior, para poder aplicar un AG se requieren los siguientes componentes básicos: (i) una representación de las soluciones potenciales del problema; (ii) una forma de crear una población inicial de posibles soluciones; (iii) una función de evaluación que juegue el papel del entorno o ambiente, clasificando las soluciones en términos de su “aptitud”; (iv) operadores genéticos que alteren la composición de los hijos que se producirán para las siguientes generaciones; y (v) valores para los diferentes parámetros que utiliza el AG, entre los que cabe destacar el tamaño de la población, la probabilidad de cruce, la probabilidad de mutación, el número de generaciones, etc.

El algoritmo genético básico representa los individuos (posibles soluciones del problema) mediante un conjunto de parámetros a los que se denominan genes, los cuales se agrupan constituyendo una cadena de valores que se define como cromosomas. Si bien existen distintas posibilidades de llevar a cabo la codificación de los individuos, las cuales se comentarán con posterioridad, en general la codificación más utilizada se basa en el alfabeto binario  $\{0, 1\}$ .

El conjunto de parámetros representando un cromosoma particular se denomina fenotipo, el cual contiene la información requerida para construir un organismo, el cual se denomina genotipo. Por tanto, la adecuación de un individuo a un problema depende de la evaluación del genotipo, la cual puede inferirse a partir del fenotipo, es decir, puede ser computada a partir del cromosoma mediante la función de evaluación.

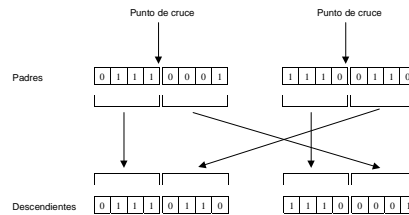
Por su parte, la función de evaluación debe ser específica para cada problema y servirá para asignar un valor a cada cromosoma en particular, el cual reflejará el nivel de adaptación al problema del individuo representado por el cromosoma. Los principales problemas derivados de la formulación del modelo son la convergencia prematura y la finalización lenta.

Para constituir la siguiente generación de individuos se realiza un proceso de reproducción que consiste, en primer término, en seleccionar los individuos para someterlos al operador de cruce y constituir los descendientes, para posteriormente realizar estos últimos un proceso de mutación.

La selección de individuos que van a actuar como “padres” se realiza normalmente al azar, utilizando un procedimiento que favorezca a los individuos mejor adaptados, para lo cual se asigna a cada individuo una probabilidad que es proporcional a su función de adaptación. A este procedimiento se le conoce con la denominación de “ruleta sesgada” cuyo objetivo es que los individuos mejor adaptados sean seleccionados, incluso varias veces por generación, mientras que aquellos individuos con una adaptación pequeña se crucen en muy pocas ocasiones. No obstante, existen distintas posibilidades para realizar la selección de los individuos que se considerarán “padres” para la siguiente generación que se analizarán más adelante.

A partir de los individuos seleccionados, se procede a combinar sus cromosomas utilizando principalmente los operadores de cruce y mutación.

- **Operador de cruce.** Si bien existen distintas variantes, el proceso de cruce más utilizado es el que se conoce como “cruce en un punto”, lo que supone tomar dos individuos de los seleccionados como “padres” y cortar sus cromosomas en una posición elegida al azar para producir dos segmentos anteriores y dos posteriores que se intercambian entre sí dando lugar a dos nuevos cromosomas completos. En consecuencia, ambos descendientes (“hijos”) heredan genes de cada uno de los progenitores (“padres”). El proceso de cruce en un punto se recoge en la Figura 13.



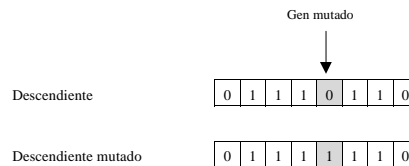
**Figura 13**

Sin embargo, habitualmente no se aplica el operador de cruce a todos los individuos que han sido seleccionados para emparejarse, sino que se establece de manera aleatoria una probabilidad (normalmente, entre 0’5 y 1) de que se produzca el cruce. En el caso contrario, la descendencia se produce simplemente por duplicación de los “padres”.

El operador de cruce proporciona una exploración más rápida del espacio de búsqueda, de ahí que suele considerarse más importante que el operador de mutación. Sin embargo, la finalidad de este último es garantizar que ningún punto del espacio de búsqueda tenga probabilidad cero de ser examinado, lo que resulta de especial importancia para asegurar la convergencia del AG.

- **Operador de mutación.** Al igual que en el caso del operador de cruce, la mutación se puede llevar a cabo de formas distintas, incluso es posible en algunas ocasiones que no se someta a los descendientes obtenidos mediante el cruce a este operador.

El operador de mutación actúa de manera individual sobre los descendientes y consiste en alterar de forma aleatoria con una probabilidad muy pequeña uno o más genes de los que componen el cromosoma. En el caso de codificación binaria, la representación de la mutación puede ser la mostrada en la Figura 14.



**Figura 14**

La principal ventaja de los AGs es que se trata de técnicas robustas que se pueden utilizar con éxito en una gran variedad de problemas incluso en casos en que otras técnicas plantean dificultades. Por otra parte, si bien no se puede garantizar que un AG proporcione una solución óptima, empíricamente se ha demostrado que encuentran soluciones aceptables en un tiempo competitivo con el resto de algoritmos de optimización combinatoria.

### 3.2.4. Algoritmos Basados en Hormigas

Los algoritmos basados en hormigas fueron propuestos por Colomi, Dorigo y Maniezzo (1991) como un sistema de múltiples agentes para resolver problemas combinatoriales difíciles, como el viajante de comercio (Stützle y Dorigo, 1992a) y el problema de la asignación cuadrática. En la actualidad existen varias propuestas que extienden y aplican los algoritmos basados en hormigas, y que se recogen bajo la denominación de “Algoritmos de Optimización mediante Colonias de Hormigas” o “Algoritmos ACO” (Stützle y Dorigo, 1992b; Dorigo y Di Caro, 1999). Estos algoritmos están inspirados en la observación de colonias de hormigas reales: se trata de insectos sociales que viven en colonias y que tienen un comportamiento dirigido al desarrollo de la colonia como un todo más que a un desarrollo individual.

Una característica interesante del comportamiento de las colonias de hormigas es cómo pueden encontrar los caminos más cortos entre el hormiguero y la comida. Estudios entomológicos descubrieron que esta capacidad es el resultado de la interacción debido a la comunicación química entre las hormigas, a través de una sustancia llamada feromona, y un fenómeno emergente causado por la presencia simultánea de muchas hormigas.

En este sentido, y a efectos ilustrativos, cabe considerar el caso de la Figura 15 que sigue a continuación, donde se muestra unas hormigas reales que se mueven en una línea recta que conecta una fuente de comida con su hormiguero.

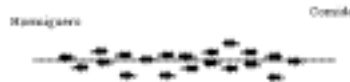


Figura 15

Pero sucede que también son capaces de adaptarse a los cambios en el entorno, por ejemplo buscando un nuevo camino más corto cuando debido a un obstáculo el camino antiguo resulta más largo. Dicha adaptación se produce por el hecho de que las hormigas depositan una cierta cantidad de feromona mientras caminan y cada hormiga prefiere probabilísticamente seguir una dirección rica en feromona que otra más pobre en dicha sustancia.

Este elemental comportamiento de las hormigas puede ser utilizado para explicar cómo buscan el camino más corto que reconecta la línea rota que, en no pocas ocasiones, acontece ante un inesperado obstáculo que interrumpe el camino inicial, tal como se muestra en la Figura 16.



Figura 16

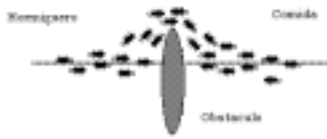
De hecho, cuando aparece un impedimento, las hormigas que están justamente al frente no pueden continuar siguiendo la pista de feromona y entonces deben escoger entre torcer a la derecha o a la izquierda. En esta situación, como no tienen indicaciones sobre la mejor opción, cabría esperar que eligieran de forma aleatoria: la mitad de las hormigas escogerán torcer a la derecha y la otra mitad a la izquierda, tal como se muestra en la Figura 17.



**Figura 17**

No obstante, resulta interesante comprobar que las hormigas que han escogido, por suerte, el camino más corto del obstáculo, pueden reconstituir más rápidamente la pista de feromona comparadas con las que escogieron el camino más largo. De ahí que el camino más corto pueda recibir una mayor cantidad de feromona en la misma cantidad de tiempo, siendo ésta la causa de que un mayor número de hormigas seleccionen el camino más corto.

Debido a este proceso (autocatalítico) de retroalimentación positiva, muy pronto todas las hormigas escogen el camino más corto, tal como se muestra en la Figura 18.



**Figura 18**

A partir de este momento, las nuevas hormigas preferirán con mayor probabilidad elegir el camino de arriba, ya que en el punto de decisión percibirán una mayor cantidad de feromona proveniente de este camino.

El aspecto más interesante de este proceso autocatalítico radica en que la búsqueda del camino más corto alrededor del obstáculo permite la observación de una propiedad emergente entre el contorno o forma del obstáculo y el comportamiento distribuido de las hormigas: aunque las hormigas se mueven aproximadamente a la misma velocidad y depositan una tasa de feromona similar, el tardar más cuando se desplazan por el contorno más largo que por el más corto propicia que la preferencia por seguir pistas de feromona con mayor acumulación sirva para escoger este último camino. Este procedimiento se puede generalizar para recorridos con varios puntos o nodos, de forma que cada vez que una hormiga llega a una intersección, decide el camino a seguir de un modo probabilístico. Las hormigas eligen con mayor probabilidad los caminos con un alto rastro de feromona. De esta forma, las bifurcaciones más prometedoras (más cercanas a la comida) van acumulando feromona en tanto son recorridas por más hormigas, mientras que las menos prometedoras pierden feromona por evaporación al ser visitadas por menos hormigas cada vez. Por tanto, la acción continuada de la colonia da lugar a un rastro de feromona que permite a las hormigas encontrar un camino cada vez más corto desde el hormiguero a la comida, ya que la cantidad de feromona depositada en un arco es inversamente proporcional a su longitud.

En relación a los distintos desarrollos operativos en este ámbito cabe destacar especialmente los Sistemas de Hormigas (SHs) por ser los primeros algoritmos ACO que modelan el comportamiento de las colonias de hormigas reales. En su aplicación a un problema real es necesario que el mismo pueda ser representado en forma de grafo, de tal manera que la Figura 17, representativa de una colonia de hormigas reales, puede ser ahora representada como se refleja en la Figura 19.

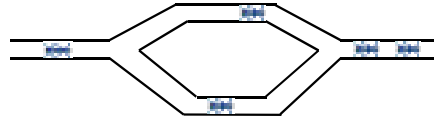


Figura 19

Un ejemplo ilustrativo de este funcionamiento puede ser el que muestra el grafo de la Figura 20 (adaptado de Dorigo, Maniezzo y Colomi, 1996):

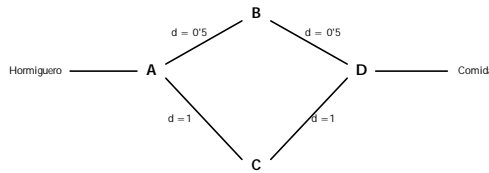


Figura 20

Los arcos (AB) y (BD) suponen la mitad de distancia que la existente entre los arcos (AC) y (CD), de forma que si se supone que las hormigas caminan a la misma velocidad, tardarán la mitad de tiempo en su recorrido.

Si se supone que en el momento de tiempo  $t$ , 30 hormigas salen del hormiguero hacia la comida, y otras 30 hormigas parten en la dirección contraria, al llegar al punto de intersección correspondiente (A o D), elegirán el camino a seguir de forma aleatoria (por ejemplo, con una probabilidad del 50%), tal como recoge la Figura 21.

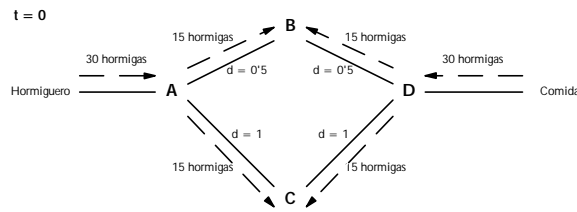


Figura 21

Si se supone que cada hormiga deja un rastro de feromona igual a la unidad y que, para mayor simplicidad, la feromona se evapora de forma total en cada unidad de tiempo, en el momento  $t+1$ , los arcos (AB y DB) habrán sido recorridos por 30 hormigas (15 en cada sentido), mientras que por los arcos (AC y DC) sólo habrán pasado 15 hormigas. De esta forma, la feromona recogida en cada arco, al considerar que cada hormiga aporta una unidad de feromona, será de 30 unidades para los arcos más cortos y 15 unidades para los arcos que representan recorridos más largos.

En el momento  $t+1$ , salen nuevamente 30 hormigas del hormiguero y de la comida. Dado que el rastro de feromona es mayor en los arcos superiores, la probabilidad de elección de los mismos será superior, de forma que se producirá una situación como la que refleja la Figura 22.



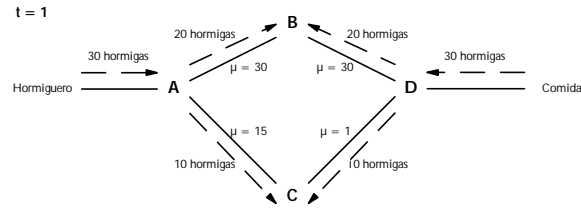


Figura 22

En consecuencia, la distancia entre dos arcos establece una medida del coste dada entre dos nodos  $r$  y  $s$ ,  $\delta(r, s)$ , de tal forma que cada arco  $(r, s)$  tiene asimismo asociada una medida de deseabilidad,  $\tau(r, s)$  denominada feromona, que se actualiza por las hormigas artificiales (o, simplemente, hormigas) en tiempo de ejecución.

El problema puede ser representado como un grafo con pesos, en el que cada arco del grafo contiene dos tipos de información distintas y con funciones diferentes, a saber:

Información heurística, que representa una medida del coste del arco, dependiente del caso concreto, que se calcula antes de comenzar el algoritmo y no se modifica durante la ejecución del algoritmo (en el ejemplo, la distancia entre los arcos).

Información memorística, que proporciona una medida de la “deseabilidad” del arco, representada por la cantidad de feromona depositada en él y modificada durante la ejecución del algoritmo en función del número de hormigas que recorrieron el mismo en el pasado (en el ejemplo, la feromona). En los sistemas basados en colonias de hormigas, el aporte de feromona depende también de la bondad de las soluciones que generaron las hormigas que recorrieron cada arco.

De esta forma, se puede definir una hormiga artificial como un agente que: (i) recuerda los nodos que ha recorrido, utilizando para ello una lista tabú de nodos visitados ( $L$ ); (ii) tras cada iteración, esta lista contiene la solución construida por la hormiga; (iii) en cada paso, elige hacia qué nodo moverse (qué arista seguir) de entre los alcanzables desde el actual  $r$  que no hayan sido visitados aún ( $J(r) = \{u \mid \exists(r,u) \text{ y } u \notin L\}$ ), según una regla probabilística de transición; (iv) una vez construida su solución, deja un rastro de feromona  $\tau_{ij}$  (en una cantidad que depende de la bondad de la misma) en cada arco por el que ha pasado y vacía  $L$ ; y (v) opcionalmente, puede también depositar feromona en cada arco que recorre mientras construye la solución.

El funcionamiento básico del SHs, tal como se muestra en la Figura 23, es el siguiente: en cada iteración, una población de  $H$  hormigas construye progresivamente, según una regla de transición de estados que depende de la información existente, distintos recorridos por el grafo (soluciones al problema). Una vez evaluadas éstas, los arcos asociados a las soluciones más prometedoras son reforzados por un aporte adicional de feromona, mientras que la contenida en los demás arcos del grafo es evaporada.

De acuerdo con lo anterior, para exponer el funcionamiento del SH es preciso determinar la forma de establecer la regla de transición de estados y la regla de actualización de la feromona:

La regla de transición de estados utilizada por el sistema de hormigas, denominada regla proporcional-aleatoria, define una distribución de probabilidad para el hecho de que una hormiga  $k$  en un nodo  $r$  elija para moverse el nodo  $s$  y que viene dada por la siguiente expresión:

$$p_k(r, s) = \begin{cases} \frac{[\tau(r, s)]^\alpha \cdot [\eta(r, s)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r, u)]^\alpha \cdot [\eta(r, u)]^\beta}, & \text{si } s \in J_k(r) \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde:

$\tau(r, s)$  nivel de feromona del arco (r, s)

$\eta(r, s)$  información heurística que, en el caso de venir establecida en términos de coste se determinará como  $\eta = 1/\delta$ , es decir, el inverso del coste del arco ( $\delta(r, s)$ )

$J_k(r, s)$  conjunto de los nodos alcanzables desde el nodo r no visitados aún por la hormiga k (para hacer la solución factible)

$\alpha$  y  $\beta$  parámetros que determinan la importancia relativa de la feromona en relación con la información heurística. En general  $\beta > 0$  mientras que el valor de  $\alpha$  suele ser 1, razón por la cual en ocasiones este parámetro es obviado.



Figura 23

En la regla de transición de estados se multiplica la feromona del arco (r, s) por el correspondiente valor heurístico  $\eta(r, s)$  con la finalidad de favorecer la elección de los arcos más prometedores (de menor coste) y con mayor cantidad de feromona.

Una vez que cada hormiga ha generado su solución, la regla de actualización global de feromona modifica el nivel de feromona de cada arco del grafo de dos formas principales, a saber: (i) evaporando feromona en los arcos que no fueron visitados por ninguna hormiga en la iteración actual (arcos poco prometedores) y (ii) añadiendo feromona en los visitados en función de la bondad de la solución que generó la hormiga que los visitó (arcos prometedores).

La expresión de la regla de actualización global de feromona es:

$$\tau(r, s) = \underbrace{(1 - \rho) \cdot \tau(r, s)}_{\text{EVAPORACIÓN}} + \underbrace{\sum_{k=1}^H \Delta \tau_k(r, s)}_{\text{APORTE}}$$

donde:

$\rho$  parámetro de evaporación de feromona ( $\rho \in [0, 1]$ )

H número de hormigas

$$\Delta\tau_k(r, s) = \begin{cases} f(S_k), & \text{si la hormiga } k \text{ ha visitado el arco } (r, s) \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$f(S_k)$  cantidad de feromona directamente proporcional a la bondad de la solución generada por la hormiga  $k$

De esta forma, si la medida de la bondad de la solución se establece en función del coste de la solución obtenida por cada hormiga ( $L_k$ ), entonces:

$$\Delta\tau_k(r, s) = \begin{cases} 1/L_k, & \text{si } (r, s) \in \text{solución construida por la hormiga } k \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Como puede observarse, todas las hormigas aportan feromona a los arcos de sus soluciones en función de la bondad de éstas. Aquellos arcos que no forman parte de ninguna solución sufren la evaporación de un  $(1-\rho)$  por ciento de la feromona de que disponían.

Este proceso de actualización de la feromona tiene el propósito de asignar más cantidad de feromona a las soluciones de mayor bondad (menor coste). En este sentido, es similar a un esquema de aprendizaje por refuerzo en el cual las mejores soluciones obtienen un mayor refuerzo (como ocurre, por ejemplo, en los algoritmos genéticos cuando se utiliza como mecanismo de selección el método proporcional a la bondad de las soluciones). La fórmula de actualización de la feromona controla el cambio de la cantidad de ésta sobre los arcos, tanto para añadir más cantidad de feromona en los arcos visitados como para evaporarla de los arcos no prometedores.

La acción de situar feromona sobre los arcos simula el papel de una memoria distribuida a largo plazo: esta memoria no se almacena localmente dentro de las hormigas individuales, sino que está distribuida sobre los arcos del grafo. Esto permite una forma indirecta de comunicación entre ellas.

#### 4. EJEMPLO DE DESARROLLO OPERATIVO: DISEÑO DE NUEVOS PRODUCTOS CON UN ALGORITMO GENÉTICO BORROSO.

##### 4.1. El papel de la Contabilidad Directiva en el Diseño de Nuevos Productos

En un entorno económico como el descrito en el apartado 2.1., se admite que la difusión rápida del saber tecnológico conlleva que las compañías necesiten innovar si quieren sobrevivir, de ahí que una rápida respuesta al mercado por parte de las empresas en el Diseño de Nuevos Productos (DNP) puede proporcionar una ganancia sustancial en la cuota de mercado futura, como lo reflejan las conclusiones de distintos estudios (entre otros, Urban, Carter, Gaskins y Mucha, 1986; Gold, 1987; Bower y Hout, 1988; Day y Wensley, 1988; Rosenau, 1988; Gupta y Wilemon, 1990 y Griffin, 1992). Por tanto, la clave del éxito competitivo reside en el diseño, esto es, la capacidad de conectar tecnología al producto nuevo y de mantener las oportunidades. El diseño afecta no solamente la forma (aspecto), la función (funcionamiento) y el ajuste (ergonomía) de los productos, también al valor y coste percibidos. De hecho, el diseño y el funcionamiento corporativo se conectan claramente; el buen diseño puede contribuir enormemente a la ventaja competitiva, mientras que un diseño pobre puede amenazar la supervivencia de una compañía.

El precio también se ha convertido en un factor cada vez más importante, donde las presiones competitivas están forzando a las firmas a diseñar a un precio determinado por el mercado, más que a agregar simplemente un margen a los costes. En efecto, cuando Toyota desarrolló el Lexus para competir con BMW o Mercedes, empleó dos conceptos básicos: el costeo objetivo y la ingeniería reversa. Esencialmente, intentó producir un coche con los atributos de la Serie 7 de BMW, pero con un precio del BMW de la Serie 5.

Este foco en la etapa del diseño es un reconocimiento explícito a que la mayoría del coste del ciclo de vida de producto es prácticamente inmutable una vez superada esta etapa en el proceso de desarrollo de un nuevo producto. En este sentido, un estudio realizado por Whitney (1988) resaltaba que en la General Motors se calculaba que un 70% del coste de fabricar transmisiones de camiones está determinado en la etapa del diseño y las estimaciones para otros productos podían exceder el 80%. Además, otro problema es que los costes de cambios parecen aumentar exponencialmente una vez desarrollado su diseño, de ahí la necesidad de poder tomar decisiones lo antes posible. Por tanto, dado que los directivos conciben los productos y los procesos como respuesta al "coste objetivo", el papel de la CD deberá adecuarse a esta situación, ya que debe involucrarse tan pronto se inicia el diseño del producto, invirtiéndose entonces la escala de tiempo: en vez de situar el trabajo de la CD únicamente después de que el producto ha sido elaborado, se extiende o amplía el ámbito de su trabajo comenzando antes de que sea concebido dicho producto.

La CD puede desempeñar un papel integrador importante en el proceso de DNP, los únicos requisitos son una buena comprensión del proceso y una implicación temprana en el mismo. En efecto, la CD puede facilitar y apoyar en una gran variedad de formas el DNP, con diferente relevancia en cada etapa del proceso, incluyendo:

- evaluar, en el contexto de las estrategias corporativas, las ofertas de nuevos productos;
- determinar qué diseños reducen al mínimo el ensamblaje y los tiempos de servicio (y por tanto los costes);
- analizar el impacto de las diversas posibilidades del diseño sobre el coste de desarrollar, producir, poseer y funcionar con el producto;
- explorar los modelos causales que determinan los costes en el proceso de los proveedores;
- equilibrar los requerimientos que conlleva una buena gestión del efectivo con los requisitos del coste y del valor para los clientes;
- establecer las alternativas de valoración, incluyendo la subcontratación, para resolver los problemas técnicos y de programación del tiempo;
- desarrollar un sistema de medida de ejecución -cuadro de mando- que permita a los distintos encargados la evaluación objetiva tanto del funcionamiento de los proyectos individuales como de la contribución de las actividades de los departamentos al logro de objetivos estratégicos competitivos y corporativos (Herstein y Platt, 2000);
- elaborar medidas y criterios de evaluación del funcionamiento para el diseño y desarrollo de un producto nuevo que tomen en consideración las perspectivas de los distintos participantes de la compañía, incluyendo los clientes, los proveedores, los empleados y los socios de la misma;
- observar de qué maneras van a utilizar el producto los clientes, porque ello afectará tanto al coste total para el usuario como a la garantía y los costes post-venta;

- ayudar a los equipos de diseño a entenderse con el Consejo Directivo, comunicando no solamente el valor del trabajo realizado por los equipos de diseño sino también de los recursos requeridos para alcanzar el producto deseado;
- balancear las tensiones inherentes que surgen entre las necesidades de clientes, de diseñadores y desarrolladores, de proveedores, de ingenieros de producción y de los responsables financieros;
- hacer explícito mucho del conocimiento corporativo tácito que afecta la filtración de ideas y de ofertas en el proceso incierto y complejo de DNP;

El DNP es una actividad que es cada vez más importante para la competitividad y la supervivencia de organizaciones, pero históricamente la interrelación entre los expertos en CD y los responsables del DNP ha sido en gran parte controvertida y adversa, pues los encargados del DNP se han enfrentado para defender sus propuestas contra la "obligación" de los contables por salvaguardar el dinero de la unidad económica. Las presiones competitivas externas descritas en el comienzo de esta presentación proporcionan una buena razón de cambiar la relación de confrontación por una más constructiva, independientemente de la necesidad evidente de disponer de información contable para ayudar en el DNP. De hecho, los expertos en CD y los diseñadores de nuevos productos pueden trabajar colectivamente, mejorar la comunicación, consolidar conexiones estratégicas y maximizar el valor entregado a los clientes sin aumentar los costes, lo cual requerirá a los expertos en CD colocar menos énfasis en el control y más en la navegación en ambientes turbulentos.

En efecto, está comúnmente aceptado (entre otros, Maidique y Zirger, 1984; Montoya-Weiss y Calantone, 1994 y Griffin, 1997) que la principal cuestión que plantea el proceso de DNP radica en traducir las expectativas del cliente en especificaciones internas de la empresa y transmitir fielmente dichas especificaciones a las distintas funciones implicadas, ya que las expectativas del cliente pueden verse deformadas y retrasadas antes de llegar a aquellos que tengan que convertirlas en tareas concretas para realizar el producto acabado, de ahí que la transmisión integral de la información asociada al producto, la rapidez de su circulación y la colaboración sin reservas de todas las funciones de la empresa con un mismo objetivo y en un mismo instante, sean considerados como factores que dan una medida de la agilidad y la capacidad de reacción de la unidad económica.

Las consideraciones anteriores ponen de manifiesto la necesidad de contar por parte de la empresa con algún mecanismo que permita transformar las necesidades apuntadas por los potenciales clientes, en el conjunto de características del producto que constituyan la mejor combinación posible. En este sentido, el responsable de CD podrá elaborar un modelo de DNP, como el que se muestra en la Figura 24, que intente conjugar ambas perspectivas, analizando las variables a considerar, tanto desde el ámbito externo (voz del cliente) como desde la óptica de la propia empresa (voz del ingeniero).

Dicho modelo se deberá esforzar por superar alguna de las principales limitaciones de que adolecen los modelos tradicionales de DNP, como el Despliegue de la Función de Calidad (DFC) (López González, 2001), entre las que cabe destacar las siguientes:

En los desarrollos operativos de la "casa de la calidad" resulta común la necesidad de contener muchos requisitos y características (líneas y columnas), lo que supone que el proceso de análisis y diagnóstico para la toma de decisiones se alargue en el tiempo y sea bastante complejo, una vez que existen muchas variables vinculadas junto con distintos criterios posibles para la selección de las características que serán desplegadas. Asimismo, cabe señalar que si bien, por un lado, la aparente utilización del método asociada a la adopción de símbolos visuales es un factor positivo, por otro, la ausencia de mecanismos formales de toma de decisión que promuevan un mayor rigor matemático supone cuando menos que los resultados obtenidos no sean objeto de aceptación general.

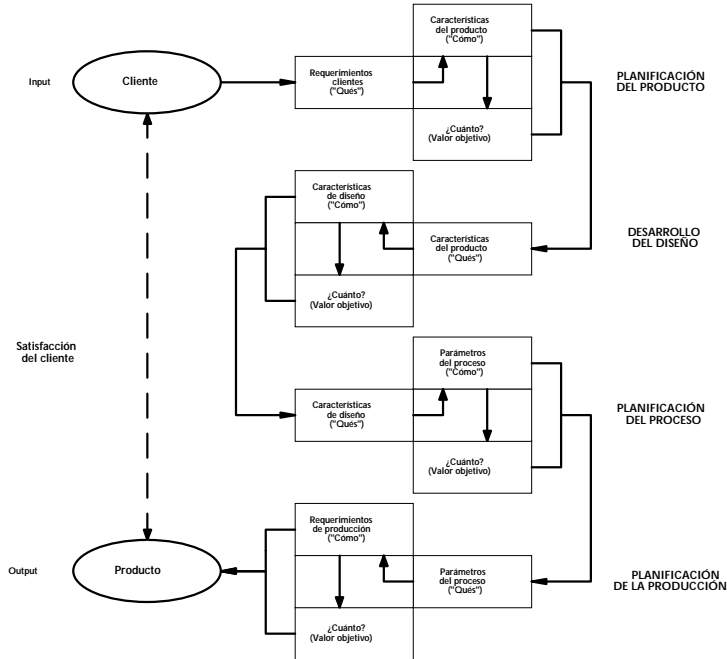


Figura 24

Finalmente, otra de las limitaciones que presenta radica en el hecho de que este método utiliza informaciones de naturaleza cualitativa, expresadas por variables lingüísticas, aplicando desarrollos matemáticos como si se tratase de información precisa, no borrosa.

En definitiva, es posible afirmar que la deficiencia más significativas radican tanto en el propio proceso de toma de decisión como en el tratamiento de la incertidumbre inherente al mismo.

Con respecto al proceso de decisión, el DFC no propone ninguna estructura formal de toma de decisiones, ni en lo que concierne a la priorización de los parámetros críticos del proyecto ni en el establecimiento de metas para tales parámetros, ya que, en primer término, dicho proceso de priorización está restringido al índice de importancia relativa para los clientes, mientras que las acciones a desplegar o metas se establecen generalmente a través de la confrontación de los datos disponibles del análisis competitivo interno, el cual es llevado a cabo de una forma subjetiva, sin una estructura formal ni rigor matemático, adoptándose procedimientos *ad-hoc*, buscando el consenso a través de exhaustivas discusiones entre los miembros del equipo de DNP. De hecho, la alta complejidad que presenta el mismo se puede asimilar a los conocidos "problemas de asignación cuadrática" (Koopmans y Beckman, 1957), considerados como uno de los problemas de optimización más duros, pues resulta muy difícil encontrar una solución óptima para la mayoría de los problemas de tamaño  $n \geq 20$  y, obviamente, cualquier decisión sobre DNP supera con creces dicho tamaño.

Por otro lado, en cuanto al tratamiento de la incertidumbre, puede ser necesario incorporar datos sobre las variables del DFC que aún cuando no sean mensurables en términos ciertos y precisos sí son susceptibles de estimación, comparación, gradación, relación, etc., tal como se mencionó en el apartado 2.3.

La búsqueda de soluciones a este problema puede llevar al responsable de la CD a desarrollar un análisis apoyado en los nuevos mecanismos de búsqueda y optimización, como son las Heurísticas Basadas en la Naturaleza (HBNs), que ofrecen la resolución de problemas de alto grado combinatorio. A este respecto, la presente exposición se centrará en la implementación de un Algoritmo Genético Borroso (AGB), incluyendo a

efectos ilustrativos un ejemplo de aplicación práctica con el propósito de facilitar la comprensión de la estructura y el funcionamiento del modelo construido.

En consecuencia, al objeto de construir un modelo que permita determinar la combinación de características que se deberían incorporar en el DNP, el análisis a realizar deberá entonces considerar, en primer término, las variables que afectan tanto a las posibles características técnicas como a los requerimientos solicitados por los clientes, lo cual permitirá a su vez establecer las posibles relaciones existentes entre ambos tipos de informaciones.

De esta forma, cabe considerar un listado de los distintos requisitos solicitados para el nuevo producto, tal que:

$$RC_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

y de las posibles características a desplegar en el mismo:

$$CA_j \quad j = 1, 2, \dots, m$$

pudiendo reflejar entonces la información inicial en una matriz de doble entrada en la que se especifican las relaciones existentes ( $r_{ij}$ ) entre ambas variables, como sigue:

$$\begin{bmatrix} RC_1 \\ \& \\ RC_i \\ \& \\ RC_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CA_1 & \& CA_j & \& CA_m \\ r_{11} & \& r_{1j} & \& r_{1m} \\ \& \& \& \& \& \\ r_{i1} & \& r_{ij} & \& r_{im} \\ \& \& \& \& \& \\ r_{n1} & \& r_{nj} & \& r_{nm} \end{bmatrix}$$

De acuerdo con lo anterior, el interés del responsable de CD se centrará en obtener la combinación de características que, maximizando las relaciones anteriores, optimicen el resto de información disponible, tanto sobre los requerimientos (información exógena) como sobre las propias características (información endógena).

#### 4.4.1. Tratamiento de la información exógena: voz del cliente

El detalle de los requerimientos sirve como punto de partida para establecer qué esperan los clientes del nuevo producto, si bien, en el modelo de decisión es preciso considerar toda aquella información que permita establecer diferencias entre los mismos, y que facilite la decisión relativa a las “mejores” características a incorporar al producto desde esta perspectiva.

A efectos del modelo propugnado en el presente trabajo, la información proveniente del ámbito externo de la empresa se concreta en las tres variables siguientes:

1. *Importancia de los requerimientos o requerimientos ponderados (RCP<sub>i</sub>)*. Los requerimientos no tienen la misma repercusión, es decir, no satisfacen en igual medida la perspectiva que del nuevo producto pueden tener los potenciales consumidores. De ahí que, en primer término, será preciso considerar el grado de importancia de cada requerimiento ( $g_i$ ), que denota la trascendencia que el cliente otorga a cada una de las necesidades o deseos que requiere. Asimismo, en la medida de dicha importancia será necesario incorporar la información relativa a las características con las que se relaciona cada uno de los requerimientos, ya que un requerimiento no es sólo importante por sí mismo, sino que dependerá de las características por las que se ve afectado y el grado de relación con las mismas.

Esta evaluación conjunta permitirá establecer el valor de los requerimientos ponderados en función de la importancia otorgada para cada uno por parte de los clientes ( $g_i$ ) y de las características con las que dicho requerimiento se relaciona y el grado de dicha relación ( $r_{ij}$ ):

$$RCP_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} \times g_i$$

2. *Evaluación competitiva o benchmarking externo* ( $t_i$ ). El análisis competitivo externo trata de establecer, desde la perspectiva aportada por los clientes presentes o potenciales, una medida de la situación en la que se encuentra en cuanto al cumplimiento de cada requerimiento en función de la competencia. Esta evaluación dará como resultado la tasa de mejora o distancia entre la situación actual y aquella que se considera como objetivo a alcanzar:

$$t_i = m_i - b_i$$

donde:

$m_i$  meta para el requerimiento  $RC_i$

$b_i$  valor actual del requerimiento  $RC_i$  del producto de la empresa

Aún cuando en el modelo propuesto la información sobre la importancia de los requerimientos y la evaluación comparativa se incorporan de forma separada, cabe la posibilidad de establecer una valoración conjunta de ambos que sirva de medida del impacto ( $w_i$ ) que tiene cada requerimiento desde la perspectiva exógena. Para ello se podría operar de la siguiente forma:

$$w_i = RCP_i \times t_i$$

Asimismo, en un análisis posterior podría resultar de interés conocer no sólo el impacto de cada requerimiento en valor absoluto, sino el peso relativo que en el conjunto de requerimientos representa cada uno de ellos:

$$w_i^{\%} = w_i \times \frac{100}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

3. *Correlación entre los requerimientos* ( $\gamma_{ij}$ ). Dicha correlación permite poner de manifiesto las posibles incompatibilidades o refuerzos entre los requerimientos aportadas por los clientes:

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \& & \gamma_{1j} & \& & \gamma_{1n} \\ \& & \& & \& & \& \\ \gamma_{i1} & \& & \gamma_{ij} & \& & \gamma_{in} \\ \& & \& & \& & \& \\ \gamma_{n1} & \& & \gamma_{nj} & \& & \gamma_{nn} \end{bmatrix}$$

#### 4.4.2. Tratamiento de la información endógena: voz del ingeniero

Se trata de analizar la información relativa a aquellos aspectos que puedan incidir en la elección de las posibles características a incluir en el nuevo producto en base a la información suministrada desde el ámbito interno de la empresa, y que en el modelo propuesto se recogen en las cuatro variables siguientes:

1. *Importancia de las características o características ponderadas* ( $CAP_j$ ). Los atributos del nuevo producto traducidos en características mensurables en el mismo deben ser cuantificados desde una doble perspectiva: la importancia que tiene cada uno de ellos en función de la relación con los requerimientos apuntados por los clientes y la importancia que tienen dichos requerimientos desde la perspectiva de los futuros clientes.

Por tanto, y de forma análoga a lo realizado para los requerimientos, en primer lugar será preciso realizar una cuantificación de cada característica basada en los dos aspectos mencionados. Dicha cuantificación cabe llevarse a cabo de la forma siguiente:



$$CAP_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} \times g_i$$

2. *Evaluación competitiva o benchmarking interno* ( $B_j$ ). Se trata de evaluar las características del producto comparando cada uno de los requerimientos de diseño con los de los competidores, con la salvedad de que esta vez es la empresa la que evalúa y realiza este posicionamiento de acuerdo con estudios realizados sobre la competencia. La medida de esta variable se establecerá entonces de la forma siguiente:

$$B_j = m_j - b_j$$

donde:

$m_j$  meta para la característica  $CA_j$

$b_j$  valor actual de la característica  $CA_j$  a incorporar en el producto de la empresa

3. *Dificultad técnica* ( $C_j$ ). Se trata de incluir una medida del grado de dificultad en el cumplimiento técnico de los objetivos definidos sobre cada una de las características de diseño del producto. Dicha dificultad se puede establecer desde el punto de vista de su ejecución práctica o bien en términos monetarios de coste asociado a la realización de cada característica.

Asimismo, y en función de la importancia de las características y de la evaluación efectuada de la dificultad técnica de cada una de ellas, se puede calcular una variable intermedia que ponga de manifiesto la importancia técnica de las características ( $ITCA_j$ ):

$$ITCA_j = CAP_j \times C_j$$

De forma similar al caso de los requerimientos antes citado, y al objeto de alcanzar una visión más cercana del peso que se concede a cada característica, será posible establecer dicha importancia en términos relativos ( $ITCA_j^{\%}$ ):

$$ITCA_j^{\%} = ITCA_j \times \frac{100}{\sum_{j=1}^m ITCA_j}$$

4. *Correlación entre características* ( $\delta_{ij}$ ). Las posibles características a desarrollar en el nuevo producto que han sido apuntadas en el seno de la empresa, no siempre son independientes unas de otras sino que entre las mismas pueden encontrarse sinérgias o relaciones negativas que es necesario considerar a la hora de optar por unas en detrimento de otras, cuya representación cabe llevar a cabo mediante la matriz siguiente:

$$\begin{bmatrix} \delta_{11} & \& & \delta_{1j} & \& & \delta_{1m} \\ \& & \& & \& & \& \\ \delta_{i1} & \& & \delta_{ij} & \& & \delta_{im} \\ \& & \& & \& & \& \\ \delta_{m1} & \& & \delta_{mj} & \& & \delta_{mm} \end{bmatrix}$$

Las consideraciones anteriores pueden presentarse a modo de diagrama de flujo, tal como muestra la Figura 25, la cual permite visualizar de forma global e integrada la primera fase del proceso de DNP, donde se establece el orden de realización de las diferentes acciones a llevar a cabo en la fase de planificación del producto.

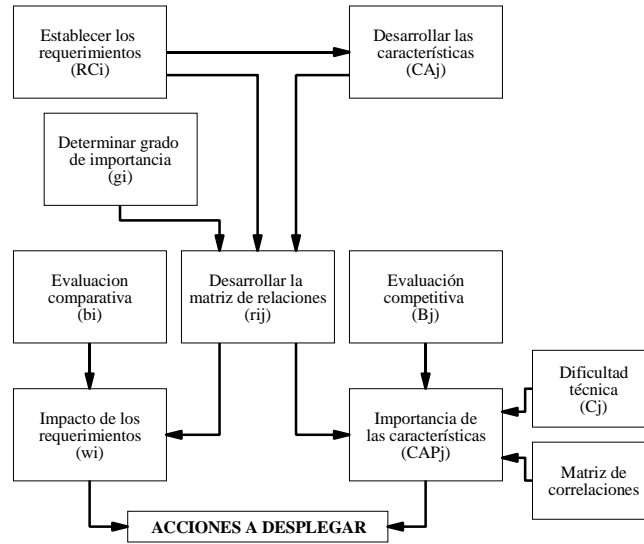


Figura 25

#### 4.2. DNP e incertidumbre: empleo de información lingüística

En la descripción del problema de DNP planteada en el apartado precedente se establece la necesidad de operar con variables cuya información debe ser recabada de ámbitos muy diversos, tanto de la propia unidad económica como de información exógena a la misma obtenida bien a través de los propios clientes, bien de expertos e incluso mediante la realización de investigaciones de mercado.

Tal circunstancia denota la dificultad de evaluar de forma numérica dicha información, ya que son personas quienes deben emitir su opinión acerca del valor asignado a la misma, y para la mayoría de los humanos resulta más sencillo exponer su opinión en valores lingüísticos. Asimismo, dado que la información que se precisa afecta al futuro y, por definición, al tratarse de nuevos productos no se tiene conocimiento de situaciones similares ocurridas en el pasado, en la mayoría de los casos será muy difícil valorar dicha información en términos de certeza.

De acuerdo con lo anterior, cabe plantearse la existencia de dos circunstancias que hacen que sea necesario llevar a cabo una adaptación de los modelos tradicionales de DNP al objeto de que se aproximen a situaciones reales, al menos en lo referente a los dos aspectos siguientes: (i) si se reconoce que la forma más natural de obtener la información es en el propio lenguaje utilizado por los humanos y que las expresiones del lenguaje natural habitualmente son imprecisas, se debería tratar de establecer mecanismos que consideren esta situación y traten de operar con esta información sin necesidad de transformarla para hacerla numérica, y (ii) si se reconoce la dificultad de que la información que afecta al futuro pueda ser expresada en valores numéricos, se deberían utilizar aquellas herramientas matemáticas que permitan trabajar con estimaciones.

Las restricciones anteriores suponen la necesidad de abordar el problema en condiciones de imprecisión e incertidumbre (Zadeh, 1975), de ahí el interés por utilizar un conjunto de términos lingüísticos, como los que recoge la Figura 26, donde a los efectos de la presente exposición se ha optado por utilizar números borrosos trapezoidales distribuidos simétricamente como sistema de representación de las etiquetas lingüísticas, aún cuando sería posible la utilización de otras semánticas y funciones (Herrera y Herrera-Viedma, 1999).

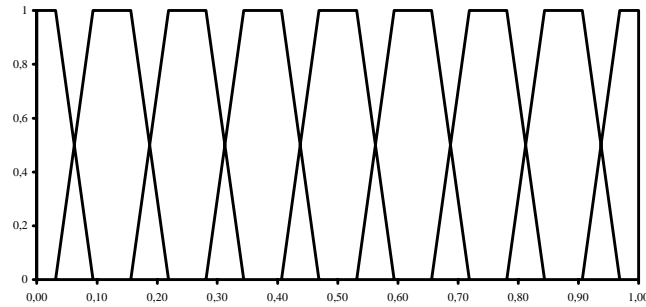


Figura 26

#### 4.3. La elección de las acciones a desplegar en el DNP con información borrosa

De acuerdo con lo antes comentado, el interés del responsable de la CD se enfoca en establecer un mecanismo que permita determinar la combinación óptima de características a incorporar en un nuevo producto en base a la información contenida en las variables que afectan a los requerimientos solicitados por los potenciales clientes y a la suministrada por los ingenieros de la empresa.

Por tanto, la medición de la validez de una combinación determinada podrá ser determinada mediante una función que reúna toda la información disponible sobre el problema. Se trata entonces de establecer una función que permita medir la bondad de una combinación de características respecto a los conceptos analizados con anterioridad. Sin embargo, previamente a la determinación de dicha función es preciso realizar ciertas consideraciones, pues en el caso del modelo propuesto, y dado que la medida de la calidad de cada solución deberá recoger todas las variables antes mencionadas, se ha planteado que la función de adecuación sea una agregación del valor de cada solución factible en cada una de las variables.

Esta decisión presenta, al menos, las dos implicaciones siguientes:

Objetivo respecto a cada variable. En primer lugar, será preciso realizar un análisis de la información disponible para cada variable y establecer la posición respecto a la misma, es decir, determinar si se pretende maximizar o minimizar los valores de dicha variable. Dado que la función de adecuación se plantea como una función de agregación, en los casos de minimización se propone calcular la inversa de la valoración que se obtenga para dicha variable en la solución.

Significado del valor de la información de las distintas variables. De acuerdo con lo anterior, la función de adecuación se establece como una suma de valores diversos, que se encuentran dentro de dominios distintos, y cuya valoración dependerá en buena medida de la forma de obtener la información. Este hecho provoca que si no se tiene en consideración los distintos dominios de cada variable, el peso relativo de la información que se utiliza para medir la calidad de cada solución será distinto para cada variable por causas ajenas al objetivo que se pretende alcanzar.

A este respecto, cabe señalar que al objeto de minimizar este inconveniente, es necesario homogeneizar la información que se utilice como base para medir la bondad de las soluciones. Para ello, y con independencia del dominio de cada variable, se ha de normalizar dicha información, haciendo coincidir los dominios de todas las variables que se incluyen en el modelo. Por otro lado, en aras al mantenimiento de la generalidad deseable en la aplicación operativa del modelo propugnado, se ha optado por realizar una homogeneización para el dominio  $[0, 1]$ , es decir, dado que se trata de números borrosos trapezoidales se procederá a realizar la transformación lineal en  $[0, 1]$ , con lo que los valores relativos a todas las variables se normalizan en dicho dominio antes de su inclusión en la función de adecuación. Adicionalmente, esta forma de operar permite que aquellas variables que puedan tomar valores positivos y/o negativos puedan incorporarse dentro del mismo dominio, sin más que normalizar entre  $[-1, 1]$ .

El proceso de normalización en sí mismo no plantea ningún inconveniente desde el punto de vista operativo. No obstante, para su puesta en práctica se establecen dos opciones respecto al dominio a considerar para proceder a calcular los valores mínimo y máximo, a saber: (i) utilizar el dominio total posible de cada variable; y (ii) considerar el dominio total actual de cada variable. A los efectos de la presente exposición se ha optado por utilizar los valores actuales de las variables para establecer el dominio de las mismas. El motivo que subyace es que, en principio, se trata de establecer las características que se deben desarrollar con el objeto de que maximicen la actual situación de la empresa y, por tanto, el problema se plantea en un contexto determinado, es decir, se trata de optimizar la situación actual con la información de la que se dispone en este momento.

Por otro lado, y debido a la representación de la información mediante variables lingüísticas, a continuación se realiza una breve descripción de dichas variables, desde la óptica de este tipo de representación, por las posibles repercusiones que ésta pudiera tener en el cálculo de la adecuación.

#### 4.3.1. Incorporación a la función de adecuación de la información exógena

En la función de adecuación se incorporará la siguiente información externa:

Importancia de los requerimientos o requerimientos ponderados ( $\tilde{R}\tilde{C}\tilde{P}_i$ ). La evaluación de la importancia de los requerimientos en los términos señalados con anterioridad precisa establecer un operador de multiplicación siendo el más generalizado la multiplicación de Dubois y Prade (1980), que será también el operador a utilizar en el resto de la información del modelo desarrollado.

Evaluación competitiva o benchmarking interno ( $\tilde{t}_i$ ).

Correlación entre requerimientos ( $\tilde{\gamma}_{ij}$ ). Dada la posibilidad de existencia de relaciones negativas, la función de pertenencia de los números borrosos trapezoidales representativos de dichas relaciones se establecerán en el intervalo [-1, 1]. No obstante, conviene poner de manifiesto que la información relativa a los requerimientos debe establecerse en función de las características con las que se relaciona cada uno de los mismos, ya que la medida de la bondad de cada solución está vinculada a la combinación de características que recoge la misma.

Los requerimientos sólo son relevantes en la medida en que se vaya a desarrollar una característica que pueda modificar el estado de los mismos. Procede, por tanto, agregar para cada característica toda la información relativa a los requerimientos con los que se encuentra relacionada, es decir:

$$\tilde{C}\tilde{A}_j^i = \begin{cases} 0 & \text{si } r_{ij} = 0 \\ \tilde{R}\tilde{C}\tilde{P}_i + \tilde{t}_i + \sum_{j=1}^n \tilde{\gamma}_{ij} & \text{si } r_{ij} \neq 0 \end{cases}$$

donde  $\tilde{C}\tilde{A}_j^i$  establece una medida de la información sobre el requerimiento i en función de la relación con la característica j.

Finalmente, y una vez obtenida la información de los aspectos que inciden en los requerimientos desde la perspectiva de las características, será preciso homogeneizar dicha información para poder incluirla en la función de adecuación en los mismos términos que las variables que proporcionan información directa sobre las características.

#### 4.3.2. Incorporación a la función de adecuación de la información endógena

En la medida de la adecuación de las soluciones, deberá incorporarse la siguiente información interna:

- a. *Importancia de las características o características ponderadas* ( $\tilde{C}\tilde{A}\tilde{P}_j$ ). A efectos de evaluar la importancia de las características se aplicará asimismo la multiplicación de Dubois y Prade a los

números borrosos trapezoidales que representan las relaciones entre requerimientos y características y la importancia otorgada por los clientes a cada una de sus exigencias.

b. *Evaluación competitiva o benchmarking interno* ( $\tilde{B}_j$ ). Dado que la distancia entre la situación en la que se encuentra la empresa respecto a cada característica y el objetivo previsto para la misma se realiza en términos de diferencia, la inclusión de esta variable en la medida de la adecuación se realizará utilizando su valor complementario.

c. *Dificultad técnica* ( $\tilde{C}_j$ ). La dificultad técnica es una variable que actúa negativamente en la deseabilidad de una característica para su inclusión en la solución óptima. Por este motivo, en la función de adecuación se incluirá asimismo el complementario de esta variable.

d. *Correlación entre características* ( $\tilde{\delta}_{ij}$ ). De forma análoga a las relaciones existentes entre los requerimientos, las correlaciones entre características pueden tener carácter negativo, razón por la cual dichas relaciones se establecerán en el intervalo [-1, 1], siendo la representación de los valores asociados a las variables lingüísticas simétricas dentro de dicho intervalo. Sin embargo, la valoración de la correlación entre las características depende de forma directa de la solución que se está evaluando, ya que sólo se reflejará la relación existente entre las características que se van a desarrollar en el producto, y éstas dependen directamente de cada solución.

Las consideraciones anteriores permiten establecer la función de evaluación de las distintas combinaciones de características que se pueden desarrollar en el nuevo producto de la forma siguiente:

$$\tilde{F}_S = \begin{cases} \sum_{j=1}^m \left( \tilde{C}\tilde{A}\tilde{P}_j + \tilde{B}_j + \tilde{C}_j + \sum_{s=1}^n \tilde{\delta}_{sj} + \tilde{C}\tilde{A}_j^i \right) & \text{si } CA_j \subset S \\ 0 & \text{si } CA_j \not\subset S \end{cases}$$

donde  $\tilde{F}_S$  representa la bondad de la solución S.

#### 4.4. Desarrollo de un Algoritmo Genético Borroso (AGB) para el DNP

En este apartado se tratará de describir los componentes del modelo de AGB implementado como mecanismo de optimización de la información disponible en el proceso de decisión sobre las características a desplegar en el desarrollo de un nuevo producto.

La implementación del AGB ha sido realizada con la finalidad de operar con información lingüística y que facilite la adopción de decisiones con independencia del número de características y requisitos que entren a formar parte de la misma. Asimismo, se parte del supuesto que para el desarrollo del nuevo producto, la empresa dispone de un volumen de recursos establecido a priori, de forma que la combinación óptima de características debe estar sujeta a dicha restricción presupuestaria.

##### 4.4.1. Codificación

La solución buscada debe establecer un número determinado de características que supongan una “buena” combinación, sin importar el orden de las mismas. Por esta razón se ha optado por una representación mediante vectores de números enteros, siendo la longitud del mismo igual al número de características posibles ( $m$ ) y representando por tanto cada número entero el número de la característica que se debería considerar en la decisión.

En cuanto a selección de la población inicial se ha optado una inicialización aleatoria de forma que se generarán tantos vectores de números enteros aleatorios como individuos tenga la población inicial. Un ejemplo de la representación de una solución para el caso de 10 posibles características podría ser:

$$S = (10, 8, 1, 6, 5, 7, 9, 4, 3, 2)$$

Sin embargo, y de acuerdo con las consideraciones anteriores, la combinación de características que se pueden llevar a cabo está sometida, mediante el coste de las mismas, a la necesidad de que la misma se encuentre dentro de la restricción presupuestaria. En consecuencia, las soluciones generadas aleatoriamente deberán ser sometidas a un proceso que elimine los individuos o soluciones no factibles. El mecanismo utilizado consiste en reducir la combinación de características inicial a una combinación cuyo coste no supere el presupuesto establecido. Para ello se procede a acumular el coste de cada solución comenzando por el primer número del vector que representa la solución, de forma que a partir del punto en el que se supere el presupuesto, el resto de posiciones será considerado 0.

De esta forma, si el coste de cada característica es el siguiente:

$$CA_2 = 10 \quad CA_3 = 8 \quad CA_4 = 5 \quad CA_5 = 2 \quad CA_6 = 12$$

$$CA_7 = 7 \quad CA_8 = 12 \quad CA_9 = 3 \quad CA_{10} = 10 \quad CA_{11} = 4$$

la conversión de la solución inicial  $S$  en solución factible para un presupuesto establecido de 35 u.m., daría lugar a una representación como la siguiente:

$$S = (10, 8, 1, 6, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$$

Dicho procedimiento se deberá repetir en cada generación, ya que al actuar los operadores genéticos, la posición que cada característica ocupa en el vector de números enteros que simula la solución puede cambiar, y con ello el coste acumulado siguiendo el orden del vector.

#### 4.4.2. Función de adecuación

Como medida de la adecuación de cada solución generada tanto en la población inicial como tras los operadores genéticos en las sucesivas iteraciones, se propone utilizar el modelo borroso descrito en la sección 4.3.2. De esta forma se obtendrá un número borroso ( $\tilde{F}_s$ ) que indicará la bondad de cada solución.

La comparación entre la bondad de las distintas soluciones obtenidas se ha realizado en base a la distancia borrosa (Kaufmann y Gil-Aluja, 1987) definida como sigue:

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \int_{\alpha=0}^1 (|A_\alpha^1 - B_\alpha^1| + |A_\alpha^2 - B_\alpha^2|) d\alpha$$

donde  $[A_\alpha^1, A_\alpha^2]$  es el intervalo de confianza de  $\tilde{A}$  para un nivel de presunción  $\alpha$ .

#### 4.4.3. Operador de selección

El operador de selección permite determinar qué cromosomas de la población inicial pasan a formar parte activa del proceso reproductivo. En el modelo propuesto se ha utilizado un método de selección proporcional a la adecuación o método de la ruleta (Goldberg, 1989), que establece que aquellos individuos con mayor adecuación tengan mayor probabilidad de ser seleccionados como padres.

#### 4.4.4. Operador de cruce

En el AG propuesto se ha optado por utilizar una variante del operador de cruce clásico que es el cruce de doble punto o cruce en dos puntos. Este proceso consiste en elegir dos puntos al azar y dividir las cadenas que representan a los individuos seleccionados como padres en tres segmentos, una cabeza, una parte central y una cola, intercambiando las partes centrales de las cadenas padre y obteniendo dos hijos que tendrán características de ambas cadenas iniciales.

No obstante, y dado el mecanismo de codificación utilizado, la influencia de este operador puede provocar que en los descendientes se repitan características, dado que las partes que se intercambian de los padres pueden contener características iguales. En consecuencia, será preciso someter a los individuos resultantes de este operador a un procedimiento que permita eliminar dichas reiteraciones.

Un ejemplo del funcionamiento de este operador podría ser el siguiente: Dados los padres  $S_1 = (2, 3, 4, 1, 9, 10, 8, 7, 6, 4)$  y  $S_2 = (1, 2, 6, 5, 10, 9, 4, 8, 3, 7)$ , si los puntos elegidos aleatoriamente para reali-

zar el cruce son los puntos 2 y 6, el intercambio de la cadena central de ambos progenitores dará lugar a los siguientes descendientes:

$$S_1 = (2, 3, 6, 5, 10, 9, 8, 7, 6, 4), \quad S_2 = (1, 2, 5, 1, 9, 10, 4, 8, 3, 7)$$

Se puede comprobar que en el primer hijo se repite la característica 6 y falta la característica 1, mientras que en el segundo individuo hijo faltaría la característica 6 y sobraría la 1. En consecuencia, sin más que intercambiar dichas características en los dos individuos resultantes, ambos quedarían conformados de acuerdo a la codificación utilizada, tal como se muestra a continuación:

$$S_1 = (2, 3, 1, 5, 10, 9, 8, 7, 6, 4), \quad S_2 = (1, 2, 5, 6, 9, 10, 4, 8, 3, 7)$$

De esta forma, tras el operador de cruce se obtienen dos nuevos individuos que representan soluciones al problema, si bien será preciso someter las mismas de nuevo a la comparación con la restricción presupuestaria establecida a priori a fin de asegurar la factibilidad de las mismas.

#### 4.4.5. Operador de mutación

La finalidad de este operador es incrementar la diversidad en el conjunto de soluciones. En el modelo propuesto se establece una mutación al azar, combinada con el intercambio de características, es decir, se elige una posición de la cadena al azar y se calcula también de forma aleatoria una característica para pasar a ocupar dicha posición en la cadena. Tras esta operación la característica se encuentra duplicada y no aparece la característica inicial, de forma que para evitar este inconveniente se localiza el lugar en que se encuentra la característica repetida y se modifica por la que falta.

Un ejemplo del funcionamiento de este operador es el siguiente:

$$S_1 = (2, 3, 1, 5, 10, 9, 8, 7, 6, 4)$$

Si el lugar obtenido para realizar la mutación es el tercero, y la característica elegida aleatoriamente es la 9, el nuevo individuo quedaría en principio representado como sigue:

$$S_1 = (2, 3, 9, 5, 10, 9, 8, 7, 6, 4)$$

La nueva característica está repetida mientras que la característica inicial (la 1) ha desaparecido de la representación de la solución. Por tanto, se localiza el lugar que ocupa la característica repetida y se cambia por la 1:  $S_1 = (2, 3, 9, 5, 10, 1, 8, 7, 6, 4)$ .

Tras este mecanismo, el individuo resultante debe ser sometido al proceso de tratamiento de individuos no factibles en base al presupuesto establecido.

#### 4.4.6. Criterio de terminación o parada en la búsqueda de la mejor solución

En la elección del criterio de finalización de la ejecución del algoritmo se ha optado por establecer un número de generaciones definido por el usuario final del modelo al establecer los parámetros de funcionamiento del mismo.

Asimismo, y con el fin de no perder las buenas soluciones obtenidas en cada generación, se ha introducido el mecanismo denominado “elitismo” (Goldberg, 1989), consistente en mantener el mejor individuo de una generación en las siguientes hasta que otro individuo lo supere en su adecuación al problema. De esta forma, mediante el elitismo, se evita perder la mejor solución de una generación hasta que no sea superada por otro individuo que pasará a ser el elitista, manteniéndose hasta que no se encuentre una solución mejor.

#### 4.4.7. Ejemplo de Aplicación Práctica

Al objeto de facilitar el análisis pormenorizado del funcionamiento del modelo expuesto, se plantea el siguiente ejemplo: Para el desarrollo de un nuevo producto se ha obtenido un listado de los requerimientos solicitados por los clientes ( $n = 15$ ), así como de la importancia que los mismos conceden a cada uno de ellos. Asimismo, se han establecido las posibles características técnicas ( $m = 10$ ) a incorporar desde la perspectiva

interna en el nuevo producto, obteniendo las relaciones existentes con los requerimientos solicitados ( $\tilde{r}_{ij}$ ) que se recogen en la Figura 27.

The screenshot shows a window titled 'OPTIMIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA NUEVOS PRODUCTOS'. It contains a table with columns for requirements (REQ) and characteristics (CAR). The table shows relationships between various requirements (REQ1 to REQ18) and characteristics (CAR1 to CAR18). The relationships are indicated by text labels within the cells of the matrix.

Figura 27

Los valores anteriores permitirán conocer tanto la importancia de los requerimientos o requerimientos ponderados ( $\tilde{R}\tilde{C}\tilde{P}_i$ ) como la importancia de las características o características ponderadas ( $\tilde{C}\tilde{A}\tilde{P}_j$ ).

La evaluación comparativa con productos concurrentes establece una medida de la situación de la empresa en cuanto al cumplimiento de los requerimientos de los clientes en función de la competencia. Los valores utilizados en el ejemplo de aplicación práctica se recogen en la Figura 28.

The screenshot shows a window titled 'OPTIMIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA NUEVOS PRODUCTOS'. It contains a table comparing the company's product (Evaluación) with competitors (Competencia) across various requirements (REQ). The table includes columns for the requirement, the company's evaluation, the competitor's evaluation, and a comparison value.

Evaluación	Requerimiento	Competencia	W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
REQ1	Exótico	Exótico	0,4375	0,21875	0,125	0,109375
REQ2	Exótico	Mala	0,25	0,625	0,0625	0,9375
REQ3	Exótico	Alta calidad	0,125	0,375	0,0625	0,875
REQ4	Clásico	Exótico	0,4375	0,21875	0,125	0,109375
REQ5	Exótico	Alta calidad	0,375	0,125	0,125	0,375
REQ6	Mala	Exótico	0,625	0,0625	0,625	0,375
REQ7	Alta calidad	Alta calidad	0,375	0,125	0,125	0,375
REQ8	Mala	Buena	0,375	0,0625	0,375	0,25
REQ9	Plástico	Exótico	1	1	0,625	0,375
REQ10	Mala	Exótico	0,9375	0,0625	0,625	0,25
REQ11	Alta calidad	Exótico	0,875	0,0625	0,375	0,125
REQ12	Exótico	Exótico	0,1875	0,0625	0,0625	0,9375
REQ13	Buena	Plástico	0,25	0,625	0,0625	0,9375
REQ14	Mala	Plástico	0,125	0,5	0,125	0,4375
REQ15	Plástico	Exótico	1	1	0,875	0,125

Figura 28

Las etiquetas lingüísticas asociadas a la evaluación realizada sobre las características técnica, tanto para los valores actuales en la empresa como para productos de la competencia, se recogen en las Figura 29, mientras que en la Figura 30 se muestran los valores asociados a la dificultad técnica de cada característica.





Figura 29



Figura 30

Las correlaciones existentes tanto entre los distintos requerimientos como entre las posibles características se reflejan en las Figuras 31 y 32, respectivamente.



Figura 31

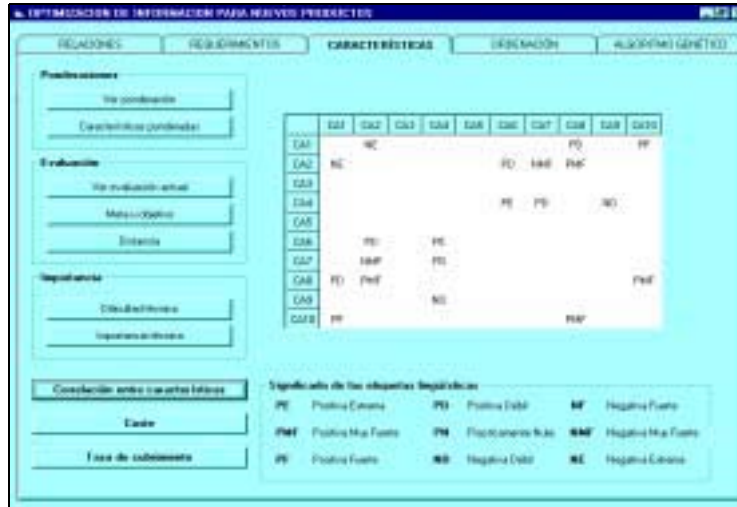


Figura 32

En cuanto al coste de desarrollo de cada característica, los valores aplicados al ejemplo de resolución práctica son los que se recogen en la Figura 33.



Figura 33

Una vez establecidos los valores utilizados para el ejemplo se debe establecer una restricción presupuestaria que pudiera ser determinada por la empresa a efectos de establecer el coste máximo asumible para el DNP. En este ejemplo se ha supuesto una restricción presupuestaria ( $\tilde{B}$ ) tal que:

$$\tilde{B} = (4400, 4500, 4500, 4600)$$

Asimismo, será preciso definir los parámetros de funcionamiento del AGB, que a los efectos de la ilustración desarrollada son los siguientes:

- Número de generaciones: 50
- Número de individuos: 100
- Probabilidad de cruce: 50%
- Probabilidad de mutación: 10%

De esta forma, en el gráfico de la pantalla de la Figura 34 muestra el resultado de la aplicación del modelo de AGB implementado, indicándose explícitamente la evolución del mejor individuo en cada generación.

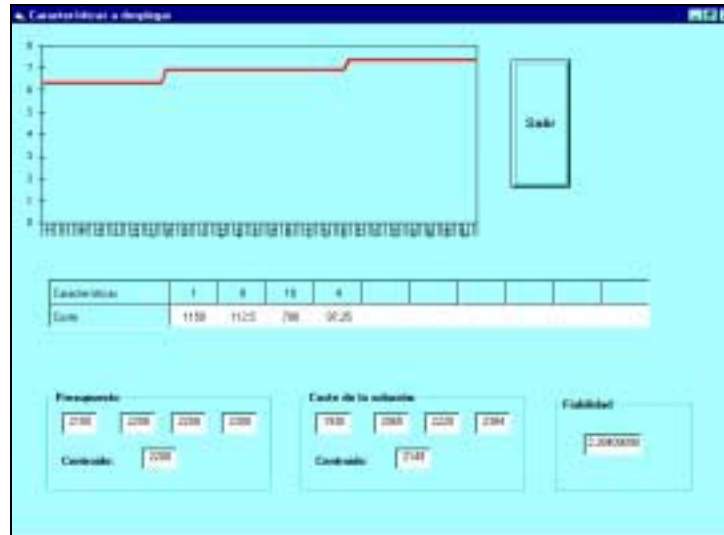


Figura 34

#### 4.5. Sumario

El análisis efectuado del proceso de Desarrollo de Nuevos Productos (DNP) ha permitido superar las carencias significativas en los modelos que tradicionalmente han sido empleados para llevar a cabo el mismo, entre las que se ha podido constatar tanto el elevado número de requisitos y características que pueden considerarse para afrontar este tipo de decisiones como la multiplicidad de relaciones existentes entre las variables que proporcionan información, ya sea sobre los requerimientos efectuados por los clientes o bien sobre las posibles acciones a desplegar, lo cual se ve agravado con la ausencia de mecanismos formales con cierto rigor matemático. Asimismo, si bien los modelos tradicionales reconocen la necesidad de operar con información cualitativa, no se ha propuesto en la literatura conocida sobre el tópico de estudio, ninguna metodología apropiada para tratar con información vaga, borrosa o lingüística, optando en todos los casos tratados por dichos enfoques tradicionales por someterla a transformaciones que permitan manejarla como si se tratara de información numérica, incluso, como sugiere la propuesta del Despliegue de la Función de Calidad, simplemente presentando una simbología gráfica (cuadros o triángulos) para denotar una gradualidad distintiva.

Frente a tales limitaciones, con el modelo construido, un modelo de AGB para el DNP, se da respuesta a ambos inconvenientes aplicando mecanismos que permiten trabajar con información lingüística y métodos heurísticos bio-inspirados que facilitan soluciones en entornos de alta complejidad combinatoria.

## 5. CONCLUSIONES

A lo largo de la exposición se ha tratado de poner de manifiesto como la CD está viviendo una gran crisis que cabe explicar como consecuencia de una serie de hechos que han convergido en los últimos años. De hecho, la cuestión del cambio en la CD ha suscitado gran interés, como atestiguan las muy diversas publicaciones que ponen de manifiesto otras tantas propuestas de actuación. Especialmente existe un acuerdo bastante generalizado acerca de que la CD creará valor si se involucra y apoya en los procesos de toma de decisiones.

Así, por ejemplo, en el anterior Congreso de ACODI, Lebas (1995) exhortaba a convertirnos en "bi-lingües", en el sentido de que deberíamos hablar en términos contables y directivos.

Más recientemente, Burns y Scapens (2000) nos sugerían convertirnos en "híbridos", con conocimientos de todos los aspectos operativos de las complejidades del negocio y con capacidad de interactuar con las personas de todos los ámbitos de la organización.

Por mi parte, siguiendo la similitud, pero haciendo honor a nuestra lengua, planteo la denominación de "rayanos", pues necesariamente los responsables de la CD deberán encontrarse en todas las fronteras del resto de los interactuantes en la organización, como soporte/ayuda de la Gestión de las Interrelaciones de la Unidad Económica.

De esta forma, nuestro papel se acercaría más a lo que en el mundo anglosajón se conoce como "CIOs" (Chief Information Officers), aunque personalmente me inclino por la denominación de "infonomistas" propugnada en España por Cornella (2000). En base a esta perspectiva, aquí se ha intentado presentar un ejemplo evidenciador de las posibilidades de integración de las heurísticas bio-inspiradas en la CD al objeto precisamente de facilitar su propósito principal redefinido: la gestión inteligente de información para la toma de decisiones, constituyendo una propuesta de investigación y docencia que en la Universidad de León venimos desarrollando en la última década.

No obstante, debo apresurarme a recordar que en ciencia nada es inevitable. La ciencia es informada por todo un conjunto de niveles de sentido y comprensión entrelazados que se seleccionan para dar el "máximo" sentido al mundo de acuerdo con la visión del observador, lo cual no significa que todo valga, que cualquier conjunto de ideas sea satisfactorio como manera de ver las cosas, más bien, se parece al proceso de dar sentido a una de esas figuras ambiguas que pueden verse de dos formas: ambas son "reales" y una vez reconocidas se pueden mirar de una y otra forma. Sin embargo, para determinados propósitos una es mejor que otra. Nos corresponde a nosotros utilizar las ideas científicas para propósitos particulares y aclarar por qué escogemos una antes que otras. Así pues, no pretendo que esta disertación se entienda como un argumento apodíctico a favor de un nuevo y mejor paradigma en CD, que desplace a otros previos. Este es el estilo autoritario de ciencia que caracterizó la modernidad. En esta nueva era posmoderna las cosas están comenzando a ser de otra forma, siendo posible que cada uno pueda ejercer su juicio. Uno puede decidir adherirse a la concepción vigente, que tiene sus ventajas, o contemplar otras vías, una de las cuales hubiera sido imposible intentar describir aquí sin su benévola comprensión y la enorme paciencia con que me han escuchado. Muchas gracias.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- Albrecht, W. y Sack, R. (2000): "Accounting Education: Charting the Course through a Perilous Future". (<http://aaakq.org/pubs/AESv16/>. También en <http://63.173.229.3/pubs/index.htm>).
- Anthony, R. (1989): "Reminiscences about management accounting". *Journal of Management Accounting Research*, Vol. 1, Fall, págs. 1-20.
- Bécker Gómez, F. (1980): "Tratado de Contabilidad Analítica de Explotación". Nebrija, Palencia.
- Bóer, G. (2000): "Management Accounting Education: Yesterday, Today and Tomorrow". *Issues in Management Education*. Vol. 15, nº 2, págs. 313-334.
- Bower, J. y Hout, T. (1988): "Fast Cycle Capability for Competitive Power". *Harvard Business Review*, Vol. 66, noviembre-diciembre, págs. 110-118.
- Bromwich, M. (1999): "Problems in Financial Management". Conferencia VI Congreso Internacional de Custos. Universidad do Minho. Braga.
- Bromwich, M. y Bhirmani, A. (1989): "Management Accounting: Evolution not Revolution". Chartered Institute of Management Accountants (CIMA). London.
- Burns, J. y Scapens, R. (2000): "The Changing Nature of Management Accounting and the Emergence of 'Hybrid' Accountants". (<http://www.ifac.org/Library/SpeechArticle.tml?NID=97542618861156>)
- Clark, J. (1923): "Studies in the Economics of Overhead Costs". The University of Chicago Press. Chicago.

- Colorni, A.; Dorigo, M. y Maniezzo, V. (1991): "Distributed Optimization by Ant Colonies". Incluido en Varela, F. y Bourgine, P. (eds.): "Proceedings of ECAL-91 - European Conference on Artificial Life". Elsevier, Paris, págs.134-142.
- Corcoran, W. (1983): "Costos. Contabilidad, Análisis y Control". Limusa. México.
- Cornella, A. (2000): "Infonomía.com. La empresa es información" Deusto. Bilbao.
- Chua, W. (1986): "Radical Developments in Accounting Thought". *The Accounting Review*, n° 61, págs. 601-632.
- Day, G.S. y Wensley, R. (1988): "Assessing Advantage: A Framework for Diagnostic Competitive Superiority". *Journal of Marketing*, Vol. 52, abril, págs. 188-199.
- Dopuch, N., Birnberg, J. y Demski, J. (1982): "Cost Accounting: Accounting Data for Management's Decisions". Third edition. Harcourt Brace and Jovanovich. New York.
- Dorigo, M. y Di Caro, G. (1999): "The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic". Incluido en Corne, D.; Dorigo, M. y Glover, F. (eds.): "New Ideas in Optimization". McGraw-Hill, New York, págs. 25-38.
- Dorigo, M.; Maniezzo, V. y Colorni, A. (1996): "The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B*, Vol.26, n° 2, págs. 29-41.
- Dubois, D. y Prade, H. (1980): "Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications". Academic Press, New York.
- Edwards, K. y Enmanuel, C. (1990): "Diverging Views on the Boundaries of Management Accounting Research". *Management Accounting Research*, págs. 51-63.
- Einicki, R. (1971): "The Genesis of Management Accounting". *Management Accounting*, abril, págs. 15-17.
- Gil Aluja, J. (1995): "Towards a new concept of economic research". *Fuzzy Economic Review*, n° 0, págs. 5-23.
- Gil Aluja, J. (1998): "The Interactive Management of the Human Resources Function". Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Gil Aluja, J. (1999): "Elements for a Theory of Decision in Uncertainty". Kluwer Academic, Dordrecht.
- Gil Aluja, J. (1999): "Investment in Uncertainty". Kluwer Academic, Dordrecht.
- Gold, B. (1987): "Approaches to Accelerating Product and Process Development". *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 4, marzo, págs. 81-88.
- Gorry, G. y Scott-Morton, M. (1971): "A Framework for Management Information Systems", *Sloan Management Review*, Vol 13, n°. 1, págs. 21-35.
- Griffin, A. (1992): "Evaluating QFD's Use in U.S. Firms as a Process for Developing Products". *Journal Production Innovation Management*, n° 9, págs. 171-187.
- Griffin, A. (1997): "PDMA Research on New Project Development Practices: Updating Trends and Benchmarking Best Practices". *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 14, noviembre, págs. 429-458.
- Gupta, A.K. y Wilemon, D. (1990): "Accelerating the Development of Technology-Based New Products". *California Management Review*, Vol. 32, invierno, págs. 24-67.
- Hansen, D., y Mowen, M. (2000): "Cost Management: Accounting and Control". Third edition. South-Western. Cincinnati.
- Harris, J. (1936): "What did we earn last month?" *N.A.C.A. Bulletin* (January, 15), págs. 501-527.
- Hauser, A. (1980): "Historia Social de la Literatura y el Arte", Guadarrama, Madrid.
- Herrera Triguero, F. y Herrera-Viedma, E. (2000): "Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information". *Fuzzy Sets and Systems*, n° 115, págs. 67-82.
- Herrera Triguero, F.; López González, E. y Martínez López, L. (2000): "The Use of Linguistic Preference Modelling based on 2-tuples and Heuristics Searches for Improving Enterprise Processes". *Proceedings of the XIV International Conference of the Association for the Advancement of Modelling & Simulation Techniques in Enterprises (AMSE): International Conference on Modelling and Simulation (MS'2000)*. Las Palmas de Gran Canaria, España, págs. 657-664.
- Herrera Triguero, F.; López González, E. y Rodríguez Fernández, M. (2001): "A Linguistic Decision model for Promotion Mix Management with Genetic Algorithms". *Fuzzy Sets and Systems: Special issue on Fontiers in Soft Decision Analysis* (En publicación).
- Herrera Triguero, F.; López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1999a): "A Linguistic Decision Model to Suppliers Selection in International Purchasing". Incluido en Zadeh, L. y Kacprzyk, J. (eds.): "Computing with words in Information/Intelligent Systems", *Physica-Verlag, Heidelberg*, págs. 500-524.
- Herrera Triguero, F.; López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1999b): "Solving an Assignment Problem under Linguistic Valuations with Genetic Algorithms". *European Journal of Operations Research*, n° 119, págs. 326-337.

- Herrera Triguero, F.; López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M.A. (2001): "A Linguistic Decision Model for Personnel Management solved with a Linguistic Biobjective Genetic Algorithm. Fuzzy Sets and Systems". Vol. 118, págs. 47-64.
- Hertenstein, J. y Platt, M. (2000): "Performance Measures and Management Control in New Product Development". Accounting Horizons, Vol. 14, nº 3, págs. 303-324.
- Hilton, R., Maher, M. y Selto, F. (2000): "Cost Management: Strategies for Business Decisions". Irwin/McGraw-Hill. Burr Ridge.
- Holland, J. (1975): "Adaptation in Natural and Artificial Systems". Univ. Michigan Press, Ann Arbor (MIT Press, 1992).
- Horngren, Ch. (1962): "Cost Accounting: A Managerial Emphasis". Prentice Hall. Englewood Cliffs.
- Horngren, Ch. (1989): "Cost and management accounting: Yesterday and today". Journal of Management Accounting Research, Vol.1, Fall, págs. 21-32.
- Horngren, Ch.; Foster, G. y Datar, S. (2000): "Cost Accounting: A Managerial Emphasis". 10th edition. Upper Saddle River, Prentice Hall.
- Johnson, H. y Kaplan, R. (1988): "La Contabilidad de Costes: Auge y Caída de la Contabilidad de Gestión". Plaza & Janés. Barcelona.
- Kaplan, R. (1982): "Advanced Management Accounting". Prentice Hall. Englewood Cliffs.
- Kaplan, R. (1983): "Measuring manufacturing performance: A new challenge for managerial accounting research". The Accounting Review, October, págs. 686-705.
- Kaplan, R. (1984): "The evolution of management accounting". The Accounting Review, nº 59, págs. 390-418.
- Kaplan, R. y Atkinson, A. (1998): "Advanced Management Accounting". Third edition. Prentice Hall. Englewood Cliffs.
- Kaplan, J.; Shank, K.; Horngren, Ch.; Boer, G.; Ferrara, W. y Robinson, M. (1990): "Contribution Margin Analysis: No Longer Relevant/Strategic Cost Management: The New Paradigm". Journal of Management Accounting Research, págs. 1-32.
- Kaufmann, A. y Gil Aluja, J. (1986): "Introducción de la Teoría de los Subconjuntos Borrosos en la Gestión de Empresas". Santiago de Compostela. Milladoiro.
- Kaufmann, A. y Gil Aluja, J. (1987): "Técnicas Operativas de Gestión para el Tratamiento de la Incertidumbre". Hispano Europea, Barcelona.
- Kaufmann, A. y Gil Aluja, J. (1995): "Grafos Neuronales para la Economía y la Gestión de Empresas". Pirámide, Madrid.
- Kohonen, T. (1989): "Self Organization and Adaptive Memory". Springer Werlang. Berlín.
- Koopmans, T. y Beckman, M. (1957): "Assignment Problems and the Location of Economic Activities". Econometrica, nº 25, págs. 53-76.
- Lauzel, P. y Bouquin, H. (1985): "Comptabilité Analytique et Gestion". Sirey. París.
- Lebas, M. (1995): "Contables de gestión: Nace una nueva raza". Incluido en Varios Autores: "Contabilidad de la empresa y sistemas de información para la gestión. Conferencias y Comunicaciones". III Congreso Internacional de Costos y I Congreso Nacional de la Asociación Española de Contabilidad Directiva (ACODI). Instituto de Contabilidad y Auditoría de Cuentas (ICAC). Madrid, págs. 63-77.
- López González, E. (1992a): "Técnicas operativas para el control de gestión de la liquidez en entornos de certidumbre, aleatoriedad e incertidumbre". Incluido en Domínguez, J. (ed.): "Gestión económica en la incertidumbre (Técnicas para la empresa del siglo XXI)". Fundación Alfredo Brañas, Santiago de Compostela, págs. 115-143.
- López González, E. (1992b): "The role of Chaos and Fuzzy Subsets Theories in Strategic Management Accounting to the Competitive Advantages: Emergence of a New Paradigm". Fuzzy Systems & A.I., Vol. 1, nº 2, págs. 79-87.
- López González, E. (1993a): "Chaos-Theory and Fuzzy Sets in Strategic Management Accounting". First European Congress on Fuzzy and Intelligent Technologies, Aachen, septiembre, Vol. 2, págs. 997-1002.
- López González, E. (1993b): "Nuevas tendencias en la contabilidad directiva: Contabilidad estratégica e incertidumbre. El caso de la decisión de hacer o comprar". III Congreso Internacional de Costos y I Congreso Nacional de la Asociación Española de Contabilidad Directiva (ACODI), Madrid.
- López González, E. (1994): "Procesamiento Humano de Información versus Redes Neuronales: El caso de predicción de la quiebra". I Congreso de la Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy (SIGEF'94), Reus, noviembre, Vol. I, págs. 235-255.
- López González, E. (1996a): "La Contabilidad de gestión del Sector Público ante incertidumbre". Incluido en VARIOS AUTORES: "Análisis y Contabilidad de Gestión en el Sector Público". Universidad de Santiago de Compostela, Págs. 71-95.

- López González, E. (1996b): "Análisis de Grafos Neuronales para la economía y la gestión de empresa de A. Kaufmann y J. Gil-Aluja, Pirámide, Madrid, 1995". Revista Española de Financiación y Contabilidad, vol. XXV (enero-marzo), págs. 293- 295.
- López González, E. (1999a): "LAXPREBO: Tratamiento de la laxitud presupuestaria en el Sector Público con subconjuntos borrosos". Secretariado de Publicaciones, Universidad de León, León.
- López González, E. (1999b): "La Construcción de Sistemas Inteligentes (Control Borroso) en Hoja Electrónica de Calculo para la Toma de Decisiones de Gestión en Ambiente de Incertidumbre". Curso Mestrado em Contabilidade e Auditoria, Universidade do Minho. Braga, Portugal.
- López González, E. (1999c): "Las redes neuronales artificiales en el tratamiento de la información financiera". Curso Mestrado em Contabilidade e Auditoria, Universidade do Minho. Braga, Portugal.
- López González, E. (2001): "A Methodology for Building Fuzzy Expert Systems (FES) with Spreadsheet to Quality Function Deployment (QFD) of the Target Costing". Incluido en Gil Aluja, J. (ed.): "Handbook of Management under Uncertainty", Kluwer Academic Publishers, Dorchecht (En publicación).
- López González, E. y Flórez López, R. (1999a): "RENECB: Desarrollo de Redes Neuronales Artificiales para la determinación de la distancia a la Quiebra Empresarial: El Caso de la Crisis Bancaria Española". Servicio de Publicaciones, Universidad de León, León.
- López González, E. y Flórez López, R. (1999b): "The Break-Even Analysis in Product Pricing Policy Under Conditions of Uncertainty in Small Business". 44th ICSB World Conference Proceedings (CD-Rom): Innovation and Economic Development: The Role of Entrepreneurship and Small and Medium Enterprises, Nápoles.
- López González, E. y Flórez López, R. (1999c): "La Gestión Presupuestaria de Tesorería en Condiciones de Incertidumbre Mediante un Modelo de Algoritmo Genético Borroso". VI Congresso Internacional de Custos: Custos e Estratègia Empresarial (CD-Rom), Universidade do Minho, Braga.
- López González, E. y Flórez López, R. (1999d): "El análisis de solvencia empresarial utilizando redes neuronales autoasociativas: El modelo KOH-LEÓN". 6th International Meeting of Connectionist Approaches In Economics And Management Sciences: "Advances In Computational Management", Reus.
- López González, E. y Flórez López, R. (2000): "Aplicación de dos modelos de redes neuronales artificiales para el análisis económico-financiero empresarial". Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa. Vol. 9, nº 2, págs. 141-165.
- López González, E. y Mendaña Cuervo, C. (1992): "Una aplicación de las Cadenas Inciertas de Kaufmann y Gil Aluja frente a las Cadenas de Markov al control de gestión de la tesorería de las empresas". II Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy, Boadilla del Monte (Madrid), noviembre, págs. 355-370.
- López González, E. y Mendaña Cuervo, C. (1993a): "An Application of the Kaufmann and Gil Aluja Fuzzy Chains to Management Control: Fuzzy Cash Management". Fuzzy Systems & A.I., Vol. 2, nº 3, págs. 21-40.
- López González, E. y Mendaña Cuervo, C. (1993b): "La investigación de desviaciones en el control de gestión ante un entorno de incertidumbre". III Congreso Internacional de Costos y I Congreso Nacional de la Asociación Española de Contabilidad Directiva (ACODI), Madrid.
- López González, E. y Mendaña Cuervo, C. (1994): "The Outsourcing Decision in Fuzzy Economic environments". International AMSE Conference Fuzzy Systems and Neural Networks, Lyon, julio, AMSE Press, págs. 39-54.
- López González, E. y Mendaña Cuervo, C. (2001): "Temática de Contabilidad de Gestión". Servicio de Publicaciones de la Universidad de León, León.
- López González, E.; Mendaña Cuervo, C.; Mieres Fuertes, J. y Rodríguez Fernández, M. (1996): "The selection of an Entry Mode Strategy into Foreign Markets under Conditions of Environmental Uncertainty". Fuzzy Economic Review, Vol. 1, nº 1, mayo, págs. 93-118.
- López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez De Soto, A. (1994): "Chaos Theory and Accounting". The 3rd International Conference on Fuzzy Logic, Neural Nets and Soft Computing, Iizuka'94, Japón, agosto, págs. 523-524.
- López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1995a): "GENIAVIS: Modelo de Algoritmo Genético para el Análisis de Inventarios con Programación Visual". V Congreso de la Asociación Española de Tecnologías y Lógica Fuzzy (ESTYLF'95), Murcia, septiembre, Vol. II: "Transferencia de Tecnología Fuzzy", págs. 101-102.
- López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1995b): "CAJAGEN: Un Algoritmo Genético para la Gestión Económica de los Cajeros Automáticos en Programación Visual". II Congreso de la Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy (SIGEF'95), Santiago de Compostela, noviembre, págs. 233-241.

- López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1996): "Aplicación de los Algoritmos Genéticos en el Control de Gestión del Personal: El modelo TARAG". III Congreso Internacional de la Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy (SIGEF'96), Buenos Aires.
- López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1997a): "La Selección de Personal con un Algoritmo Genético Borroso". Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa, Vol.2, nº 2, mayo-agosto, págs. 61-76.
- López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1997b): "Global Sourcing: An Approach to Suppliers Selection Problems using Genetic Algorithm and Linguistic Valuations". VI International Conference of the European Association of Management and Business Economics, Chania (Grecia), septiembre, págs. 117-130.
- López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1998a): "Fijación de estrategias del mix de promoción mediante un algoritmo genético borroso". XIX Congrès de la Association Française Comptabilité, Nantes, mayo, págs. 442-443.
- López González E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1998b): "La gestión de inventarios con algoritmos genéticos". Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, primavera, nº 5, págs. 85-90.
- López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M. (1998c): "The Election of a Portfolio Through a Fuzzy Genetic Algorithm: The Pofugena Model". Incluido en Zopounidis, C. (ed.): "New Operational Tools in the Management of Financial Risk", Kluwer Academics Publishers, Norwell, págs. 273-290
- López González, E.; Mendaña Cuervo, C. y Rodríguez Fernández, M.A (1998d): "Existencias: Valoración y Gestión". Pirámide, Madrid.
- López González, E. y Rodríguez Fernández, M. (1995): "GENia: A Genetic Algorithm for Inventory Analysis. A spreadsheet approach". VII International AMSE Conference, Brno, julio, Vol. 4, págs. 200-222.
- López González, E. y Rodríguez Fernández, M. (1999): "ALGEB01: Desarrollo de un Algoritmo Genético para la Gestión de Personal en Condiciones de Incertidumbre". Servicio de Publicaciones, Universidad de León, León.
- López González, E. y Rodríguez Fernández, M. (2000): "Genetic Optimisation of a Fuzzy Distribution Model". International Journal of Physical Distribution and Logistics Management. Vol. 30, nº 7/8, págs. 681-696.
- López González, E.; Rodríguez Fernández, M. y Mendaña Cuervo, C. (2001): "The logistic Decision Making in Management Accounting with Genetic Algorithms and Fuzzy Sets". Mathware & Soft Computing, Vol. 7, págs. 1-15.
- López González, E.; Rodríguez Fernández, M.; Mendaña Cuervo, C. y Flórez López, R. (1999): "Distribution Information Systems with Genetic Algorithm and Fuzzy Sets". 1999 EUSFLAT – ESTYLF Joint Conference, Universidad de las Islas Baleares, Palma de Mallorca, septiembre, págs-323-326.
- Magee, R. (1986): "Advanced Managerial Accounting". Harper & Row. New York.
- Maher, M. (2000): "Management Accounting Education at the Millennium". Issues in Management Education. Vol. 15, nº 2, págs. 335-346.
- Maidique, M. y Zirger, B. (1984): "A study of success and failure in product innovation: The case of the U.S. electronic industry". IEEE Transactions in Engineering Management, Vol. 4, nº 11, págs. 1024-1035.
- Mallo Rodríguez, C. (1979): "Contabilidad Analítica. Costes y Rendimientos". Centro de Publicaciones del Ministerio de Hacienda. Madrid.
- Mallo Rodríguez, C., Kaplan, R., Meljem, S. y Giménez, C. (2000): "Contabilidad de Costos y Estratégica de Gestión". Prentice Hall, Madrid.
- May, G., Windal, F. y Sylvestre, J. (1995): "The need for change in accounting education: an educator survey". Journal of Accounting education, Vol. 13, nº 1, págs. 21-43.
- Mendaña Cuervo, C. (2000): "Modelos de gestión basados en tecnologías bio-inspiradas para el desarrollo de nuevos productos". Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de León. León
- Mendaña Cuervo, C. (2001): "Sistema Inteligente de Contabilidad Directiva basado en un Sistema de Hormigas con 2-tuplas para el Desarrollo de Nuevos Productos". VII Congreso Internacional de Costos y II Congreso Nacional de la Asociación Española de Contabilidad Directiva (ACODI), León (CD-Room).
- Michalewicz, Z. (1996): "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs". Springer, Berlin.
- Montoya-Weiss, M. y Calantone, R. (1994): "Determinants of New Product Performance: A review and Meta-analysis". Journal of Product Innovation Management, Vol. 11, nº 26, págs. 21-34.
- Parker, D. (1982): "Learning logic. Invention Report", Office of Technology Licensing, Universidad de Stanford. Stanford.
- Rapin, A. y Poly, J. (1978): "Contabilidad Analítica de Explotación". Deusto. Bilbao.



- Rebele, J., Apostolou, B., Buckless, F., Hassell, J., Paquette, L. y Stout, D. (1998): "Accounting education literature review (1991-1997), part I: Curriculum and instructional approaches". *Journal of Accounting Education*, n° 16, págs. 1-52.
- Requena Ramos, I. y López González, E. (1996): "Segmentación Difusa de Clientes Bancarios usando Redes Neuronales Artificiales". VI Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy, Oviedo, septiembre, págs. 231-236.
- Robinson, M., ed. (1990): "Contribution margin analysis: No longer relevant/ strategic cost management: The new paradigm". *Journal of Management Accounting Research*, Fall, págs. 1-32.
- Rosenau, M. (1988): "From Experience Faster New Product Development". *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 5, febrero, págs. 150-153.
- Ross, G. (1990): "Revolution in Management Accounting" *Management Accounting*, November, págs. 23-27.
- Rumelhart, D. et al. (1986): "Learning representations by back-propagating errors", *Nature*, 323, pp. 533-536.
- Russell, K., Siegel, G. y Kulesza, C. (1999): "Counting more, counting less". *Strategic Finance* (September), págs. 39-46.
- Schneider, E. (1968): "Contabilidad Industrial". Aguilar. Madrid.
- Shank, J. (1989): "Strategic Cost Management: New Wine, or Just New Bottles?". *Journal of Management Accounting Research*, Vol. 1, n° 1, págs. 47-65.
- Shank, J. y Govindarajan, V. (1989): "Strategic Cost Analysis. The Evolution from Managerial to Strategic Accounting". Irwin. Homewood.
- Shank, J. y Govindarajan, V. (1993): "Strategic Cost Analysis. The New Tool for Competitive Advantage". The Free Press. Nueva York.
- Shillinglaw, G. (1961): *Cost Accounting: Analysis and Control*. Richard D. Irwin. Homewood.
- Simon, H. (1960): "The New Science of Management Decision". Harper & Row, New York.
- Staubus, G. (1971): "Activity Costing and Input-Output Accounting". Richard D. Irwin. Homewood.
- Stützle, T. y Dorigo, M. (1992a): "ACO Algorithms for the Travelling Salesman Problem". Université Libre de Bruxelles, Bruxelles.
- Stützle, T. y Dorigo, M. (1992b): "ACO Algorithms for the Quadratic Assignment Problem". Université Libre de Bruxelles, Bruxelles.
- Teodorescu, H.; Gil Aluja, J.; Gil Lafuente, A. y López González, E. (1994): "Chaotic Fuzzy Models for Processes involving Decision Making". I Congreso de la Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy (SIGEF'94), Reus, noviembre, Vol. 2, págs. 3-21.
- Urban, G.; Carter, T.; Gaskins, S. y Mucha, Z. (1986): "Market Share Rewards to Pioneering Brands: An Empirical Analysis and Strategic Implications". *Management Science*, Vol. 32, págs. 645-659.
- Vatter, W. (1950): "Managerial Accounting". Prentice Hall. Englewood Cliffs.
- Werbos, P. (1974): "Beyond Regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences". Tesis Doctoral. Universidad de Harvard. Harvard.
- Whitney, D. (1988): "Manufacturing by design", *Harvard Business Review*, July/August, págs. 83-91.
- Zadeh, L. (1975): "The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning". *Information Sciences*, n° 8, págs. 199-249.
- Zadeh, L.A. (1996): "Fuzzy Logic=Computing with Words", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. Vol. 4, págs. 103-111
- Zimmerman, J. (1997): "Accounting for Decision Making and Control". Second edition. Irwin. Chicago.