



**SISTEMA INTELIGENTE DE CONTABILIDAD DIRECTIVA BASADO EN UN SISTEMA DE HORMIGAS CON 2-TUPLAS PARA EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS EN INCERTIDUMBRE**

**Cristina Mendaña Cuervo**

Universidad de León. Facultad de CC. EE. y Empresariales.  
Departamento de Dirección y Economía de la Empresa  
Campus de Vegazana, s/n. E-24071 León (España)  
E-mail: [ddecmc@unileon.es](mailto:ddecmc@unileon.es)

**Resumen**

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar y aplicar una metodología basada en una técnica bio-inspirada que ayude en el proceso de toma de decisiones sobre la elección de las características a incorporar en el desarrollo de un nuevo producto. El modelo que se implementará tratará de superar las limitaciones de que adolecen los modelos tradicionales, especialmente en entornos inciertos, tanto en la propia obtención de información relevante como en el procesamiento de la misma. Para ello, se ha optado por elaborar un modelo de representación de información basada en 2-tuplas lingüísticas como herramienta válida para procesar la información suministrada por personas, y al objeto de facilitar el proceso de búsqueda y optimización se ha aplicado una heurística basada en la naturaleza, denominada “sistema de hormigas”, debido a los buenos resultados que estos algoritmos ofrecen en problemas con alto grado combinatorio.

**Palabras clave:** Desarrollo de Nuevos Productos, Aplicación de Métodos Cuantitativos, Técnicas Bio-inspiradas, Información Lingüística, Tratamiento de Incertidumbre



**VII Congreso del  
Instituto Internacional  
de Costos**



**UNIVERSIDAD DE LEÓN**



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

## **1. Introducción**

El entorno actual en el que se desarrollan las empresas se caracteriza por un enorme dinamismo, que implica grandes cambios en las condiciones económicas y del mercado, unido a avances tecnológicos cada vez más rápidos. En estas condiciones, las empresas deben adaptar continuamente su cartera de productos, modificando y abandonando productos existentes y lanzando al mercado nuevos productos. De este modo, el desarrollo e introducción de nuevos productos se convierte en un elemento clave para la supervivencia y el crecimiento de las empresas, como ya fue analizado, por ejemplo, en el estudio realizado por Page (1993), donde se establece que el 32% de las ventas realizadas por las empresas proceden de nuevos productos introducidos en los 5 años previos al estudio.

En este entorno, en el que los cambios en las condiciones económicas y tecnológicas, unidos al incremento del nivel de competitividad tanto local como global, las variaciones en las necesidades de los clientes, la rápida obsolescencia de los productos y la emergencia de nuevos mercados, se precisa de una rápida respuesta por parte de las empresas en el desarrollo de nuevos productos, que permita alguna ganancia sustancial en la cuota de mercado futura, como lo reflejan los resultados de distintos estudios (entre otros, Urban, Carter, Gaskins y Mucha, 1986; Gold, 1987; Day y Wensley, 1988).

Por otra parte, la incertidumbre inherente a los mercados y a la tecnología implica asimismo que estos procesos deban realizarse de forma flexible (Sánchez, 1995; Wind y Mahajan, 1988), con la finalidad de minimizar el riesgo del proyecto, ya que todo proceso de innovación lleva asociado un riesgo inherente al mercado y un riesgo tecnológico (Lambin, 1991). El riesgo de mercado se deriva del grado de originalidad y complejidad del concepto de nuevo producto, mientras que el riesgo tecnológico viene determinado por el grado de innovación de la tecnología utilizada, en ambos casos tanto desde la perspectiva del mercado como desde la perspectiva de la propia empresa..

Por otro lado, en la literatura se pueden encontrar diversos estudios que tratan de identificar los factores determinantes del éxito de los nuevos productos en el mercado, con la finalidad de mejorar la eficiencia del proceso de desarrollo de nuevos productos (Maidique y Zirger, 1984; Montoya-Weiss y Calantone, 1994; Santos y Vázquez, 1997).

Entre dichos factores de éxito cobra especial relevancia el propio proceso de desarrollo del nuevo producto (DNP), el cual comienza con las expectativas del cliente y concluye con la salida del producto acabado, esto es, el problema radica en traducir las expectativas del cliente en especificaciones internas de la empresa y transmitir fielmente dichas especificaciones a las distintas funciones implicadas. De hecho, tanto la traducción de las expectativas del cliente en especificaciones como la transmisión de dichas especificaciones a las distintas funciones se lleva a cabo no sin dificultades, tropezando

normalmente con numerosos obstáculos, ya sea por la estructura, los modos de funcionamiento de la empresa o por la naturaleza misma del proceso de desarrollo.

A su vez, convertir los requerimientos del cliente en especificaciones técnicas de diseño bien detalladas puede ser una tarea difícil, pues, con frecuencia, los requerimientos del cliente son “borrosos o vagos”, y en muchos casos, contradictorios. Como las especificaciones técnicas del producto se expresan en un “lenguaje” bastante diferente del de las necesidades de los clientes, a menudo la voz del cliente no se escucha y el resultado final es un producto que no satisface por completo las necesidades de los clientes.

En efecto, las expectativas del cliente, punto de partida del ciclo y del proceso de desarrollo, 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 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, en el segundo apartado se presenta un modelo que permite 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). El modelo planteado permite superar las dos limitaciones existentes en los modelos tradicionales y que se tratan de resolver en el presente trabajo.

En primer lugar, la necesidad de adaptar mecanismos que permitan operar con información lingüística. En efecto, la información relevante, ya sea endógena o exógena, es obtenida mediante opiniones emitidas por personas, es decir, expresadas en la mayoría de las ocasiones en términos lingüísticos de ahí que, a fin de facilitar el proceso de decisión, se dedique el tercer apartado a analizar la representación de información lingüística mediante 2-tuplas, con la finalidad de aplicar esta metodología al proceso de tratamiento y procesamiento de la información en el objeto de estudio.

En segundo lugar, el modelo planteado, al tratar de conjugar dicha información endógena y exógena, provoca que el número de variables relevantes sea muy elevado y las posibles interrelaciones entre las mismas hace que el número de combinaciones posibles esa lo suficientemente grande como para dificultar su resolución en un corto espacio de tiempo. La búsqueda de soluciones a este problema ha llevado a los autores del presente trabajo a analizar las posibilidades que los nuevos mecanismo de búsqueda y optimización,

en concreto las heurísticas basadas en la naturaleza, ofrecen en la resolución de problemas de alto grado combinatorio, optando por considerar la opción de implementar un Sistema de Hormigas, a cuya presentación se dedica el cuarto apartado de este trabajo.

De esta forma, en el quinto apartado se definirán las principales líneas del funcionamiento del modelo planteado. A efectos ilustrativos se desarrolla un ejemplo de aplicación práctica, que facilita la comprensión de la estructura y el funcionamiento del modelo construido. Para finalizar se establecen las principales conclusiones obtenidas del trabajo desarrollado.

## **2. El proceso de Desarrollo de Nuevos Productos**

El desarrollo de nuevos productos (DNP) es un proceso guiado tanto por las expectativas de los clientes acerca de dicho producto como por las especificaciones internas de la empresa. Por tanto, se trata de conjugar en un modelo los mecanismos que faciliten el establecimiento de las tareas que la empresa debe realizar, de forma que se optimicen ambas perspectivas, es decir, que cumplan en la medida de lo posible los requerimientos de los clientes, esto es, atiendan la “voz del cliente”, dentro de las posibilidades técnicas y operativas de la empresa o características para el nuevo producto descritas en lo que se conoce como la “voz del ingeniero”, maximizando la relación entre ambas.

En consecuencia, para facilitar el desarrollo de cualquier nuevo producto se ha de tener en consideración estas dos perspectivas, las cuales como es lógico, tienen cierta conexión, en el sentido de que habrá características para el nuevo producto planteadas por los ingenieros que cumplirán en cierta medida alguno de los requerimientos de los clientes, y viceversa, es decir, para el cumplimiento de algunas de las solicitudes formuladas por los clientes será necesario en cierta medida establecer o desarrollar determinadas características en el nuevo producto.

El desarrollo de cualquier propuesta operativa precisa, en primera instancia, establecer los requerimientos de los consumidores, es decir, captar los atributos que influyen en la percepción del cliente sobre el nuevo producto. Para ayudar a establecer dichos atributos pueden emplearse una variedad de técnicas de investigación de mercado, como encuestas a los clientes, grupos de enfoque y clínicas a los clientes, empleando la retroalimentación del cliente para elaborar una lista de dichos requerimientos. De esta forma, se podrán establecer entonces los atributos que satisfagan las perspectivas exógenas del nuevo producto. Este listado de requerimientos debería desarrollarse utilizando la misma terminología del propio cliente, con el objeto de evitar posibles interpretaciones erróneas. De ahí que sea necesario partir de niveles lo más genéricos posibles para ir agrupando dicha información de forma que se recojan todos los atributos expresados por los consumidores. Por tanto, se obtendrá un listado de los distintos de requerimientos:

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

Por otro lado, como se expuso con anterioridad, los requerimientos de los clientes deben confrontarse con las opiniones internas para poder establecer las especificaciones de diseño que maximizan las relaciones entre ambas. Por tanto, los requerimientos anteriores deben ser traducidos en características medibles en el producto, es decir, traducir la voz del cliente en lenguaje técnico que permita determinar las características del producto que están relacionadas con los requisitos o requerimientos. De esta forma, se obtendrá un listado de las características:

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

Posteriormente, la información inicial se puede resumir en una matriz de doble entrada en la que se especifican requerimientos y características, así como la relación ( $r_{ij}$ ) existente entre ambas variables.

Conviene tener en cuenta que tanto los requerimientos como las características se ven afectados por otras variables que tendrán incidencia en la decisión que se pretende abordar, de forma que será preciso procesar toda la información disponible respecto a las mismas, es decir, información inherente a los requerimientos solicitados por los clientes en el nuevo producto y variables afines (voz del cliente o información exógena), así como la información de las posibles características que la empresa está en condiciones de desarrollar en el nuevo producto y las variables que afectan a las mismas (voz del ingeniero o información endógena), tal como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1 que permite visualizar el proceso de desarrollo y establecer el orden de realización de las diferentes tareas y secciones para completar la elaboración del modelo de decisión sugerido en el presente trabajo.

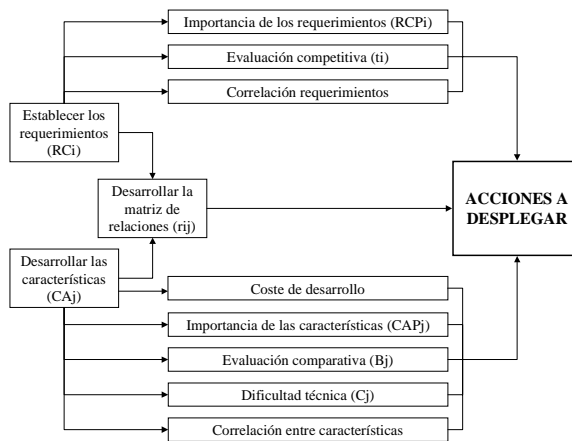


Figura 1.

Una vez expuesto el proceso de toma de decisión en que se basa el modelo e identificada la información que a los efectos se considera relevante, el problema se centra

en primer término en la obtención de dicha información, la cual en principio debe ser recabada de clientes y/o ingenieros, de forma que en muchos casos dicha información estará formada por opiniones, expresadas en lenguaje natural, es decir, variables lingüísticas. Por tanto, si se desea poder operar con este tipo de información sin someterla a transformación para obtener valores numéricos, será preciso aplicar aquellas herramientas matemáticas que permitan trabajar con este tipo de información.

Entre las posibles alternativas que han sido establecidas para el procesamiento de información en lenguaje natural, en trabajos previos (Mendaña Cuervo, 2000), se ha propugnado el desarrollo de un modelo de representación basado en 2-tuplas lingüísticas, que se utilizará en el modelo bio-inspirado implementado en los apartados siguientes.

### **3. Algoritmos Basados en Hormigas**

Los algoritmos basados en hormigas fueron propuestos en primer término por Colomi, Dorigo y Maniezzo (1991, 1992) como un sistema de múltiples agentes para resolver problemas combinatoriales difíciles, como el viajante de comercio (TSP) y el problema de la asignación cuadrática (QAP). 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 (ACO)” (Stützle y Dorigo, 1992; Dorigo y Di Caro, 1999).

Estos algoritmos están inspirados en la observación del comportamiento de colonias de hormigas reales, las cuales presentan como una característica interesante la forma de encontrar los caminos más cortos entre el hormiguero y la comida (Dorigo y Gambardella, 1997a). En su recorrido, depositan una sustancia llamada feromona que todas pueden oler, de forma que el rastro de feromona permite a las hormigas volver al hormiguero desde la comida, y este mismo rastro puede ser utilizado por nuevas hormigas para localizar ésta.

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 igualmente por el hecho de que las hormigas depositan una cierta cantidad de feromona mientras caminan y cada hormiga prefiere seguir una dirección rica en feromona que otra más pobre en dicha sustancia. De esta forma, las hormigas que han escogido, por suerte o azar, 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 un que 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. Este procedimiento se puede generalizar para recorridos con varios puntos o nodos, de forma que 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.

Entre los algoritmos ACO destaca el Sistema de Hormigas (SH) como algoritmo progenitor de todos los demás estudios que se han llevado a cabo en este ámbito (Dorigo, Maniezzo y Coloni, 1996). En su aplicación a un problema real es necesario que el mismo pueda ser representado en forma de grafo con pesos, en el que cada arco del grafo contiene dos tipos de información distintas, heurística y memorística, con funciones diferentes:

1. La información heurística 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).
2. La información memorística 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 recuerda los nodos que ha recorrido, utilizando para ello una lista tabú de nodos visitados ( $L$ ) que tras cada iteración contiene la solución construida por la hormiga. 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. 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  $L$ . Opcionalmente, puede también depositar feromona en cada arco que recorre mientras construye la solución.

Por tanto, el funcionamiento básico del Sistema de Hormigas 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, al objeto de explicitar 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.

### **3.1. Sistemas de Hormigas: Regla de transición de estados**

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 es obviado.

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.

### 3.2. Sistemas de Hormigas: Regla de actualización 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:

- Evaporando feromona en los arcos que no fueron visitados por ninguna hormiga en la iteración actual (arcos poco prometedores).
- 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:

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



Evaporación      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.

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.      Diseño y aplicación de un Sistema de Hormigas para el Desarrollo de Nuevos Productos basado en Información Lingüística**

En el presente apartado se tratará de establecer las líneas aplicadas para la implementación práctica de un modelo de ayuda a la decisión sobre las “mejores” características que debería incorporar un nuevo producto en circunstancias de restricción presupuestaria.

El modelo construido parte de información suministrada mediante etiquetas lingüísticas, utilizando como mecanismo de representación de la información la metodología de las 2-tuplas lingüísticas y como mecanismo de optimización de la

información un sistema de hormigas (SH), cuyo funcionamiento básico ha sido establecido en el cuarto apartado del trabajo.

#### **4.1. La representación de información basada en 2-tuplas lingüísticas**

Las variables lingüísticas son similares a las variables numéricas ya que tienen ciertos valores asociados a ellas, pero a diferencia de las variables numéricas, los valores de las variables lingüísticas no son números sino expresiones del lenguaje natural que describen alguna cantidad abstracta de interés. A este respecto, conviene señalar que el principal problema en el uso de variables lingüísticas se encuentra en la determinación del conjunto de etiquetas a utilizar para expresar las opiniones de los individuos. Para ello, se ha de determinar el nivel de distinción al que se quiere expresar la incertidumbre, o lo que es lo mismo la granularidad de la incertidumbre del conjunto de etiquetas, así como la semántica de las etiquetas, es decir, qué tipo de funciones de pertenencia utilizar para caracterizar los valores lingüísticos. En la literatura al respecto se pueden encontrar trabajos dedicados a esta problemática entre los que destacan Zadeh (1975), Bonissone (1982), Bordogna y Passi (1997); Delgado, Herrera, Herrera-Viedma y Martínez (1998); Torra (1996).

En este trabajo se plantea un modelo de representación lingüístico basado en la propuesta de Herrera y Martínez (1999) el cual parte del concepto de traslación simbólica, que se puede definir como sigue: Sea  $S = \{S_0, \dots, S_g\}$  un conjunto de términos lingüísticos, y  $\beta \in [0, g]$  un valor obtenido por un método simbólico operando con información lingüística. La traslación simbólica de un término lingüístico  $s_i$  es un número valorado en el intervalo  $[-0.5, 0.5]$  que expresa la “diferencia de información” entre una cantidad de información expresada por el valor  $\beta \in [0, g]$  obtenido en una operación simbólica y el valor entero más próximo,  $i \in \{0, \dots, g\}$ , que indica el índice de la etiqueta lingüística ( $s_i$ ) más cercana en  $S$ .

El modelo de representación basado en el concepto de traslación simbólica utiliza como base de representación 2-tuplas,  $(\tau_i, \alpha_i)$  donde  $\tau_i \in S$  y  $\alpha_i \in [-0.5, 0.5]$  y cuya simbología representa lo siguiente:

$\tau_i$  una etiqueta lingüística

$\alpha_i$  número que expresa el valor de la distancia desde el resultado original  $\beta$  al índice de la etiqueta lingüística más cercana ( $\tau_i$ ) en el conjunto de términos lingüísticos  $S$ , es decir, su traslación simbólica.

La utilización de la representación anteriormente expuesta precisa convertir las etiquetas lingüísticas clásicas en su equivalente en 2-tupla, para lo cual siendo  $s_i \in S$  un término lingüístico, su representación mediante una 2-tupla equivalente se obtiene mediante la función  $\theta$ :

$$\theta : S \rightarrow (S \times [-0'5, 0'5])$$

$$\theta (s_i) = (s_i, 0) / s_i \in S$$

Asimismo, a partir de un valor numérico  $\beta$ ,  $\beta \in [0, g]$  obtenido de una operación simbólica se puede obtener la 2-tupla lingüística que expresa la información equivalente a  $\beta$  utilizando la siguiente función:

$$\Delta : [0, g] \rightarrow S \times [-0'5, 0'5]$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ con } \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, & \alpha \in [-0'5, 0'5) \end{cases}$$

donde “round” representa el operador usual de redondeo,  $s_i$  la etiqueta con el índice más cercano a  $\beta$  y  $\alpha$  el valor de traslación simbólica.

De esta forma, se puede generalizar el proceso que para una 2-tupla devuelva su valor numérico de la forma siguiente: Sea  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  un conjunto de términos lingüísticos y  $(s_i, \alpha)$  una 2-tupla lingüística, es posible obtener el valor numérico equivalente  $\beta \in [0, g]$  mediante la función  $\Delta^{-1}$  siguiente:

$$\Delta^{-1} : S \times [-0'5, 0'5) \rightarrow [0, g]$$

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$$

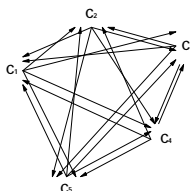
#### 4.2. Diseño del Sistema de Hormigas para el Desarrollo de Nuevos Productos

Con el fin de facilitar el seguimiento de modelo se plantea abordar un ejemplo ilustrativo del proceso de construcción del mismo. Para ello, y de acuerdo con lo analizado en el segundo apartado, el proceso de decisión parte de una matriz de doble entrada en la que se localizan las especificaciones o requerimientos realizados por los clientes ( $RC_i$ ) y las características apuntadas por los ingenieros o desarrolladores del producto ( $CA_j$ ), de forma conjunta con las posibles relaciones existentes entre las mismas ( $r_{ij}$ ). En el ejemplo que se desea desarrollar se parte de la matriz de relaciones de la Figura 2.

The screenshot shows a software window titled 'Visualización de la Matriz de Relaciones' (Visualization of the Relationship Matrix). It contains a table with 10 rows and 10 columns. The rows are labeled RC1 through RC10, and the columns are labeled CA1 through CA10. The cells in the matrix contain various alphanumeric codes and symbols representing relationships between the requirements and characteristics.

**Figura 2.**

La consideración de la existencia de un volumen de recursos limitado para afrontar el desarrollo del nuevo producto y establecer la elección entre las distintas características que se deben incorporar en el mismo sujetas a dicha restricción, se puede plantear como un problema de asignación de un determinado importe de recursos a una serie de acciones a desplegar. Así, las posibles soluciones al problema vendrán establecidas por combinaciones de las distintas características que se analizan en cada caso, de forma que éstas pueden representarse en un grafo como el que muestra la Figura 3 para un supuesto de cinco características alternativas. En dicha Figura se pone de manifiesto la similitud entre el problema así planteado y la representación de posibles recorridos a realizar por una colonia de hormigas reales, lo que permite proponer la resolución del mismo mediante la utilización de hormigas artificiales.



**Figura 3.**

El diseño de un SHs aplicado en el desarrollo de nuevos productos precisa establecer los mecanismos principales para el funcionamiento del mismo: el sistema de inicialización de los recorridos, la regla de transición de estados y la regla de actualización de feromona, que se pasan a exponer en los apartados siguientes.

#### **4.2.1. Fase de inicialización**

De acuerdo con el funcionamiento genérico de los SHs, cada hormiga construirá su recorrido, estableciendo una posible solución al problema, partiendo de un punto aleatorio y eligiendo el siguiente punto del recorrido en función de una medida de deseabilidad del mismo.

En analogía con el problema planteado, cada hormiga construirá una posible solución al problema partiendo de la elección de una característica al azar, y eligiendo la siguiente característica, entre las que no han sido incorporadas a la solución, en función de una medida que represente la bondad de la misma.

El paso de una característica a otra representa la incorporación de la misma a la solución construida por cada hormiga, de forma que se establece como un arco en el recorrido, el cual tiene asociada una medida de deseabilidad que actúa como peso del

mismo en el momento de proceder a elegir la siguiente característica que compone la solución.

Si se parte de un volumen de recursos especificado a priori, la combinación de características que constituye cada solución estará limitada al cumplimiento de dicho presupuesto, de forma que la construcción de la solución por parte de cada hormiga se irá realizando incorporando características, mediante la aplicación de la regla de transición de estados, siempre que la inclusión de una nueva característica a la solución cumpla con la restricción presupuestaria.

#### **4.2.2. Regla de transición de estados**

Una vez establecido el punto de partida del recorrido para cada hormiga y evaluado el cumplimiento del presupuesto, el paso siguiente consiste en establecer, mediante la regla de transición de estados, la probabilidad de incorporar a la solución el resto de características.

Este procedimiento facilita construir un recorrido completo para cada hormiga con el único límite de la restricción presupuestaria. En consecuencia, se deberá aplicar de forma consecutiva la regla de transición de estados hasta que la incorporación de una característica exceda el volumen de recursos disponibles en cuyo caso se establece que la hormiga ha completado su recorrido y facilitado, en consecuencia, una posible solución al problema.

De esta forma, el numerador de la probabilidad de transición de la característica que constituye el punto de partida ( $r$ ) hacia el resto de características disponibles ( $s$ ) se efectuará teniendo en consideración los valores de las anteriores variables de forma específica para cada característica  $[\eta(r, s)]$  y el valor de la feromona inicial  $[\tau(r, s)]$ .

El denominador de la probabilidad de transición  $\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r, u)] \cdot [\eta(r, u)]$  estará

formado por la suma de los valores de todas características que no representen el punto de partida de la solución que se evalúa y que constituyen, en consecuencia, los posibles nodos por visitar para cada hormiga.

Sin embargo, en el modelo desarrollado, si bien la correlación existente entre las características se puede considerar información heurística, en el sentido que no se modifica durante la ejecución del algoritmo, su inclusión en la medida de la probabilidad de transición dependerá de que cada par de características se encuentren o no en la solución aportada por cada hormiga artificial.

De acuerdo con lo anterior, en el cálculo de la probabilidad de transición se deberá incorporar dentro de la información heurística, la relación de cada característica con el resto de características que componen hasta el momento la solución que se está construyendo. En el momento inicial sólo será preciso agregar la correlación que tiene cada característica con el punto inicial del recorrido de cada hormiga, pero con posterioridad, a medida que cada hormiga va construyendo su solución, tanto el numerador como el denominador deberán verse afectados por las posibles correlaciones que se establecen entre la “nueva” característica y las características que se encuentran en la lista de nodos visitados por cada hormiga.

El cálculo de la probabilidad de transición evaluado en los términos anteriores establece una medida de la “bondad” de las características pendientes de visitar en términos positivos, es decir, la característica con mayor probabilidad será deseada frente al resto de características. El cálculo de la probabilidad asociada a cada en la regla de transición de estados precisa establecer una medida de la información heurística así como de los niveles de feromona existentes en cada arco. En su aplicación al modelo planteado, estos parámetros son determinados de la forma que se expone en los apartados siguientes.

#### **4.2.3. Tratamiento de la información**

##### **4.2.3.1. Información heurística**

La información heurística, representativa de la medida del coste (o bondad) de cada arco, se calcula antes de comenzar el algoritmo y es mantenida a lo largo de la ejecución del mismo. En el problema planteado la información heurística vendrá establecida por la medida de la bondad que representa en una solución el hecho de que se incorpore una determinada característica. Esta información representa el conocimiento que se tiene tanto sobre las variables que componen la información exógena, obtenida de los clientes, como por las variables representativas de la información endógena, proporcionada por los ingenieros de la empresa, relativa a cada característica o punto del recorrido.

Por tanto, y en consonancia con las consideraciones realizadas en el apartado 2, el proceso de recopilación, procesamiento y normalización de ambos tipos de información constituye el paso previo al desarrollo del modelo y que en el caso del presente apartado, constituirá la información heurística con la que operará el SHs.

##### **4.2.3.1.1. Información exógena: Voz del cliente**

La información exógena determina la medida de las variables que incorporan información relativa a los requerimientos de los clientes, es decir, la importancia, la evaluación competitiva y la correlación entre los mismos.

**A. Importancia de los requerimientos desde la perspectiva del cliente ( $RCP_i$ )**

La importancia de los requerimientos viene establecida por las relaciones entre éstos y las características ( $r_{ij}$ ) así como por el factor que establece la importancia que los posibles consumidores otorgan a cada uno de los requerimientos ( $g_i$ ). En el ejemplo de ilustración práctica, desarrollado a efectos ilustrativos de la validez operativa del modelo propugnado, se suponen las relaciones establecidas en la Figura 3, estableciéndose el grado de importancia de cada requerimiento en los siguientes términos:

$g_1 = MI$	$g_2 = MI$	$g_3 = I$	$g_4 = M$	$g_5 = MI$	$g_6 = I$	$g_7 = PI$	$g_8 = PI$
$g_9 = MI$	$g_{10} = M$	$g_{11} = PI$	$g_{12} = M$	$g_{13} = I$	$g_{14} = MI$	$g_{15} = MI$	

donde el conjunto de términos lingüísticos  $\{s_0^5, s_1^5, s_2^5, s_3^5, s_4^5\}$  del factor de ponderación es el equivalente a las etiquetas lingüísticas: Nulo ( $s_0^5$ ), Poco Importante ( $s_1^5$ ), Medio ( $s_2^5$ ), Importante ( $s_3^5$ ) y Muy Importante ( $s_4^5$ ). Por su parte, para las relaciones entre requerimientos y características representado en la Figura 2, el conjunto de términos lingüísticos  $\{s_0^9, s_1^9, s_2^9, s_3^9, s_4^9, s_5^9, s_6^9, s_7^9, s_8^9\}$  equivale a: Debilísima ( $s_0^9$ ), Muy Débil ( $s_1^9$ ), Bastante Débil ( $s_2^9$ ), Débil ( $s_3^9$ ), Media ( $s_4^9$ ), Fuerte ( $s_5^9$ ), Bastante Fuerte ( $s_6^9$ ), Muy Fuerte ( $s_7^9$ ) y Esencial ( $s_8^9$ ).

Como se puede observar, los conjuntos de etiquetas representativas de esta información tienen distinta semántica, siendo necesario a efectos de aplicar el modelo de decisión agregar el valor de ambas variables. El proceso de agregación precisa en primer término de un mecanismo de normalización que permita unificar la información lingüística multigranular en un único dominio de expresión. En concreto, en este caso se parte de dos conjuntos de 5 y 9 etiquetas lingüísticas: para el factor de ponderación de los requerimientos  $l(1,5)$  y para las relaciones entre requerimientos y características  $l(2,9)$ .

Si se establece como conjunto de términos lingüísticos para unificar dicha información en un único dominio el conjunto  $l(2,9)$ , mediante la función de transformación analizada en el tercer apartado, es posible obtener los valores unificados para el caso del factor de ponderación de los requerimientos en el dominio elegido. A efectos ilustrativos se muestra la transformación del primer términos

$$TF_2^l(s_0^5, 0) = \Delta^{-1} \left( \frac{\Delta(s_0^5, 0) \cdot (9-1)}{(5-1)} \right) = \Delta^{-1}(0) = (s_0^9, 0)$$

De esta forma, será posible proceder al cálculo de la importancia de los requerimientos ponderados, para cuyo proceso se define una función  $g(r_{ij}, u_i)$  que permite establecer la medida de la importancia de cada requerimiento  $i$  en base a la relación que tiene con la característica  $j$  y la importancia asignada a dicho requerimiento  $i$ , de la forma siguiente:

$$g(r_{ij}, u_i) = \text{MIN}(r_{ij}, u_i)$$

Dado que tanto las relaciones como la importancia de los requerimientos están establecidos en el mismo dominio es posible utilizar el operador mínimo.

Para conocer la relación de cada requerimiento  $i$  con todas las características será preciso proceder a agregar el resultado obtenido de aplicar la función  $g$  a cada característica. Los procedimientos de agregación pueden ser diversos, si bien dada la pretensión de mantener un tratamiento homogéneo de la información, se establece que ambas variables tienen la misma importancia, motivo por el cual se utilizará como operador para agregar la información el operador media de 2-tuplas, expuesto en el tercer apartado.

Los resultados obtenidos tras este proceso darán una medida de la importancia de los requerimientos ponderados que, mediante la utilización de la representación en 2-tuplas, permite establecer una etiqueta para el mismo, pero sin perder la información debido a que si bien se realiza una aproximación al valor de la etiqueta más próximo para definir el resultado, se continúa el proceso de acumulación del resto del modelo trabajando con toda la información proporcionada, ya que la misma se mantiene mediante el valor de traslación simbólica.

En el caso del ejemplo de ilustración práctica, tras los procesos de unificación y agregación anteriormente descritos, se obtiene una valoración para la importancia de cada requerimiento que muestra la pantalla de la Figura 4, establecida a través del conjunto de términos lingüísticos siguientes:

$$\{s_0^9, s_1^9, s_2^9, s_3^9, s_4^9, s_5^9, s_6^9, s_7^9, s_8^9\}$$

definidos con las etiquetas: Nulo, Casi Nulo, Casi Nada Importante, Poco Importante, Medio, Importante, Bastante Importante, Muy Importante y Esencial, respectivamente.

Por otro lado, resulta factible observar que el resultado obtenido proporciona la misma evaluación para varios requerimientos; sin embargo, es posible discernir entre ellos haciendo uso de la información que se recoge en la variable de traslación simbólica que, a efectos ilustrativos se muestra en la pantalla de la Figura 5 para el caso del ejemplo.



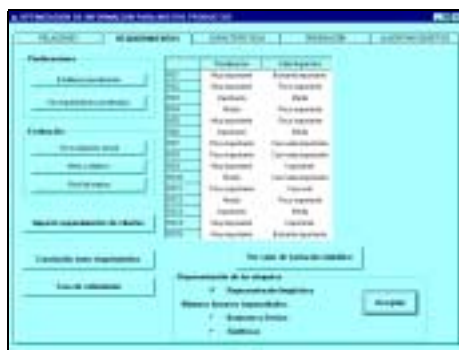


Figura 4.



Figura 5.

De forma similar a la expuesta en este apartado, la información relativa a todas las variables que se incluyen el modelo, será sometida al mismo procedimiento: representación mediante 2-tuplas, agregación mediante el operador media y representación de resultados por aproximación a la etiqueta más cercana al dominio original, manteniendo la información a efectos de la operativa posterior mediante el segundo componente de la 2-tupla.

#### B. Evaluación competitiva con productos concurrentes ( $t_i$ )

La evaluación comparativa de los requerimientos proporciona información sobre la situación actual de la empresa respecto a los mismos y de la situación en la que se encuentran las empresas con las que se desea competir. A efectos ilustrativos se supone que ambas variables están establecidas en términos lingüísticos en el mismo dominio de expresión  $[l(1,5)]$ , de ahí que, dada la necesidad posterior de agregación con el resto de variables, se deba proceder a realizar la unificación de esta información para el dominio por el que se ha optado en el apartado anterior  $[l(1,9)]$  y que servirá de base para todo el modelo.

En cuanto al cálculo de la meta o distancia se realiza aplicando el operador de comparación de 2-tuplas, de forma que el resultado proporciona una evaluación del nivel de mejora en términos lingüísticos, a la que se le han asociado 9 etiquetas cuya información hace referencia a la "necesidad de mejorar" y que, en concreto, son las siguientes: Positiva Extrema, Positiva Muy Fuerte, Positiva Fuerte, Positiva Débil, Prácticamente Nula, Negativa Débil, Negativa Fuerte, Negativa Muy Fuerte y Negativa Extrema.

En su incorporación posterior al cálculo de la bondad de las soluciones aquellos requerimientos que se encuentren igual o mejor situados (sus 2-tuplas representativas sean mayores o contengan la misma información) quedan relegados, ya que al igual que en los casos anteriores sólo se consideran relevantes aquellos requerimientos sobre los que la

empresa debería incidir con el fin de mejorar. El resultado obtenido en su aplicación al ejemplo que se está considerando es el que recoge la pantalla de la Figura 6.

**C. Correlación entre los requerimientos ( $\gamma_j$ )**

La información sobre la correlación entre requerimientos ha sido establecida en términos de 9 etiquetas lingüísticas de forma que no es preciso realizar ninguna modificación sobre la misma. En el ejemplo de ilustración práctica, los datos que afectan a esta variable son los reflejados en la Figura 7.

En cuanto a su inclusión en la medida de la bondad de cada solución se procederá unificarla con el resto de información, cuyo procedimiento se comentará con posterioridad.



Figura 6.

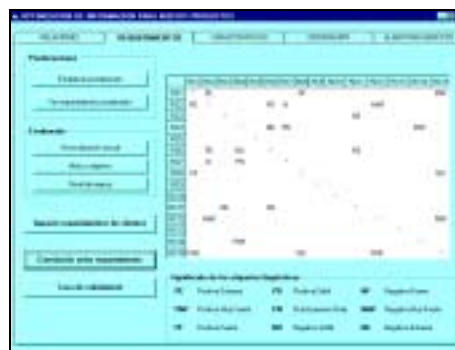


Figura 7.

**4.2.3.1.2. Información endógena: Voz del ingeniero**

La información obtenida en el seno de la empresa puede ser asimismo tratada mediante la representación en 2-tuplas, de forma análoga a lo realizado con la información externa. Las variables que proporcionan información endógena deberán ser sometidas a un proceso de unificación del dominio de expresión en que se encuentra expresada la información. Asimismo, se mostrarán los resultados obtenidos al operar con las distintas variables en base a este tipo de representación.

**A. Importancia de las características ( $CAP_j$ )**

La importancia de las características viene determinada por la relación que mantiene cada una de ellas con los requerimientos ( $r_{ij}$ ) y la importancia de los mismos ( $g_i$ ), es decir, se utiliza la misma información que para ponderar los requerimientos pero analizado desde la perspectiva de las características, de forma que ya se dispone de dicha información en el dominio elegido  $I(2,9)$ .

Este procedimiento será similar a la evaluación realizada en el caso de los requerimientos, sin más que aplicar la función  $g$ , ya definida, para establecer la medida de la importancia de cada requerimiento en base a la relación que mantiene con todas las

características y proceder a agregar el resultado, ahora desde la perspectiva de cada característica.

Los resultados de la evaluación de la importancia de las características estarán definidos, por tanto, en 9 etiquetas, cuyo significado ha sido mencionado con anterioridad, y que con los datos del ejemplo de desarrollo son los que muestran la Figura 8, donde la evaluación ha sido determinada mediante la etiqueta lingüística más próxima el valor de la 2-tupla que determina la importancia. No obstante, se continúa manteniendo toda la información mediante el segundo componente de la 2-tupla, de forma que la importancia de las características en su inclusión en la medida de la calidad de las soluciones se realizará con toda la información.

### B. Situación actual de las características técnicas ( $B_j$ )

La información de la situación de la empresa respecto al desarrollo de las características así como la situación de la competencia respecto a las mismas se supone establecida en el dominio  $I(1,5)$  de forma que será preciso, antes de proceder a su comparación, unificar dicho dominio con respecto al resto de la información que recoge el modelo  $[I(2,9)]$ .

La información unificada en el dominio  $I(2,9)$  permite aplicar el operador de comparación a las 2-tuplas representativas, de forma que el resultado vendrá dado en dicho dominio, habiendo considerado la utilización de las mismas etiquetas lingüísticas que en el caso de la evaluación comparativa de los requerimientos. El resultado en el problema del ejemplo desarrollado se muestra la Figura 9.



Figura 8.

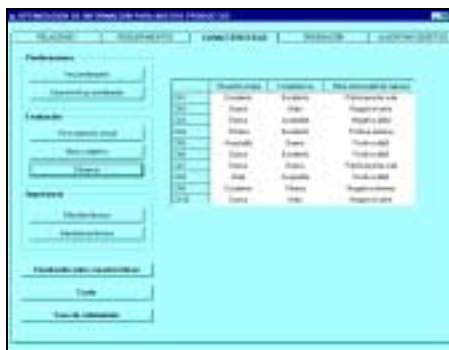


Figura 9.

### C. Dificultad técnica ( $C_j$ )

La representación de la dificultad de desarrollo de cada característica ha sido establecida mediante cinco etiquetas, en concreto: Muy alta, Alta, Media, Baja y Muy baja. Esta información tiene valor por sí misma, es decir no es necesaria ni su comparación ni su



La medida de la bondad de cada solución vendrá dada por la agregación de la información disponible analizada, como se mostraba en la Figura 1.

En aras al mantenimiento de la mínima generalidad deseable en la aplicación operativa del modelo se ha optado por homogeneizar los valores en el intervalo  $[0,1]$ , de forma que es posible establecer una medida de la bondad de cada solución sin más que agregar toda la información disponible sobre las características que componen la misma.

#### **4.2.5. Regla de actualización de feromona**

En los SHs la actualización de la feromona se realiza mediante una regla de actualización global que modifica los niveles de feromona en dos formas: evaporando feromona de los arcos que no fueron visitados por ninguna hormiga en cada iteración (características poco prometedoras) e incrementando la feromona de los arcos visitados en función de la bondad de la solución que generó la hormiga que los visitó (características prometedoras).

Los SHs se caracterizan, a diferencia de otros algoritmos ACO, en que todas las hormigas aportan feromona a los arcos que constituyen su solución, de forma que todas aquellas características que forman parte de la solución proporcionada por alguna hormiga, reciben feromona de forma proporcional a la bondad de la solución en la que se encuentran incluidas.

En el modelo construido, los niveles de feromona se actualizarán evaporando feromona de aquellas características que no forman parte de ninguna solución en cada iteración y aportando feromona a las características que compongan las soluciones realizadas por cada hormiga en cada iteración, teniendo en consideración la bondad que representa cada una de ellas en relación al resto de soluciones. La actualización de feromona precisa, por tanto, de una evaluación de la bondad que representa la solución aportada por cada hormiga. La medida de la adecuación dependerá de los nodos (características) que componen la lista de nodos visitados por cada hormiga en su recorrido para la construcción de la solución.

La evaluación de la adecuación vendrá dada por la suma de la información heurística asociada a cada característica así como por la incorporación de las correlaciones existentes entre todas las características incluidas en cada solución. Dicho proceso permitirá conocer la proporción en que cada hormiga afectará al proceso de actualización de los niveles de feromona.

En el modelo desarrollado el aporte de feromona  $f(S_k)$  es función de la medida de la bondad relativa de cada solución y de la contribución de cada característica, mediante su adecuación particular, a dicha bondad.

En cuanto al proceso de evaporación de feromona, éste se produce en aquellos nodos que no han sido visitados por ninguna hormiga en su recorrido para construir la solución, es decir, en aquellas características que no han sido incorporadas a ninguna solución. El cálculo de la cantidad evaporada de feromona depende del nivel de feromona de cada arco  $\tau(r,s)$  y del parámetro de evaporación de feromona ( $\rho$ ). En la primera iteración, el nivel de feromona inicial en el modelo desarrollado se considera un parámetro a definir por el usuario, si bien es habitual que dicho nivel sea similar para todos los arcos. En las sucesivas iteraciones, el nivel de feromona utilizado para evaluar la evaporación que se produce dependerá de los resultados obtenidos en las iteraciones anteriores. Por su parte, el parámetro que define la evaporación de feromona es asimismo incorporado por el usuario final antes de proceder a la ejecución del algoritmo.

#### **4.2.6. Parámetros de funcionamiento del sistema de hormigas**

La operativa del sistema de hormigas precisa establecer una serie de parámetros necesarios para la ejecución del algoritmo. Si bien existen estudios que permiten determinar los valores habituales, dado que el funcionamiento general del algoritmo es independiente de dichos valores, en el modelo desarrollado se ha optado por dejar libertad al usuario final para introducir los valores de los parámetros más generales como son el número de hormigas, el número de iteraciones, el nivel de feromona inicial y el parámetro de evaporación de feromona.

No obstante, dada la importancia de los niveles de feromona en el cálculo de la probabilidad de transición, la evaluación de este parámetro es la más relevante para el buen funcionamiento del sistema, ya que un nivel sobrevalorado de feromona y para determinados arcos provoca que el mismo sea recogido en todas las soluciones.

La pantalla de recogida de información del modelo se muestra en la Figura 12, en la que se puede comprobar que se solicita al usuario final que incorpore asimismo la información relativa a la restricción presupuestaria que tiene establecida la empresa para el desarrollo del nuevo producto en términos ciertos.

Asimismo, es posible optar por un inicio dirigido en cada iteración para el número total de hormigas, recomendable en el caso de que se trabaje con un número poco elevado de agentes. En el resto de los casos, y siguiendo el procedimiento general de funcionamiento de este tipo de algoritmos, se permite que la selección del nodo inicial de cada hormiga se produzca de forma aleatoria, ya que los efectos perversos que pueda tener la utilización de una visita inicial al azar se ve subsanada por el número de agentes que actúan en todas las iteraciones del funcionamiento.

A efectos ilustrativos del funcionamiento del sistema de hormigas se plantea un ejemplo de su ejecución considerando un número de hormigas igual a 50, para 10 iteraciones, con un parámetro de evaporación de feromona de 0'5 y supuesta una restricción presupuestaria de 2.200 u.m. La evolución de la adecuación de las soluciones obtenidas durante las sucesivas iteraciones, así como la mejor combinación obtenida mediante la evaluación que se realiza en cada iteración, se muestra en la pantalla que recoge la Figura 13, en la que se puede comprobar que la mejor solución coincide con la combinación más repetida, es decir, con el recorrido realizado por un mayor número de hormigas.



Figura 12.



Figura 13.

## 5. Conclusiones

El análisis del proceso de Desarrollo de Nuevos Productos (DNP) ha permitido detectar carencias significativas en los modelos tradicionales, en concreto se ha podido constatar que debido al elevado número de requisitos y características que pueden considerarse para afrontar esta decisión, así como a la multiplicidad de relaciones existentes entre las variables que proporcionan información tanto sobre los requerimientos efectuados por los clientes como sobre las posibles acciones a desplegar, debido a la ausencia de mecanismos formales con rigor matemático, provoca que en su aplicación a la toma de decisiones se conviertan en métodos largos y complejos. Asimismo, si bien los modelos tradicionales reconocen la necesidad de operar con información cualitativa, no se ha propuesto ninguna metodología apropiada para este tipo de información, optando por someterla a transformaciones que permitan manejarla como si se tratara de información numérica.

En el desarrollo del trabajo se ha planteado dar respuesta a ambos inconvenientes aplicando mecanismos que permitan trabajar con información lingüística y métodos heurísticos que faciliten la operativa con procesos complejos: (i) la representación mediante 2-tuplas lingüísticas como solución aportada en el presente trabajo para operar con información cualitativa en el proceso de decisión sobre el desarrollo de nuevos productos, puede considerarse como una metodología válida que ha permitido subsanar una carencia

significativa de los modelos tradicionales; (ii) la implementación de un Sistema de Hormigas (SHs) como mecanismo de optimización de la información lingüística ha permitido proporcionar soluciones de mínimo coste en un tiempo razonable de tiempo.

De esta forma, y una vez presentados los principales aspectos definitorios de las consideraciones anteriores, se ha elaborado un modelo de SHs basado en la representación lingüística de 2-tuplas, cuya aplicación al DNP, implementado con un ejemplo ilustrativo completo, permite comprobar como dicho modelo supera los inconvenientes antes descritos, facilitando que el proceso de decisión se lleve a cabo teniendo en cuenta las condiciones de incertidumbre y complejidad que caracterizan la realidad económica actual.

## **6. Referencias Bibliográficas**

- Bonissone, P.P. (1982): "A Fuzzy Sets based Linguistic Approach: Theory and Applications". Incluido en GUPTA, M.M. y SANCHEZ, E. (eds.): "Approximate Reasoning in Decision Analysis". North-Holland, pp. 329-339.
- Bordogna, G. y Passi, G. (1997): "A Linguistic Modelling of Consensus in Group Decision Making based on OWA Operators". *IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 27, pp. 126-132.
- 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 Publishing, Paris, pp.134-142.
- Colorni, A.; Dorigo, M.; Maffioli, F.; Maniezzo, V.; Righini, R. y Trubian, M. (1996): "Heuristics from Nature for Hard Combinatorial Optimization Problems". *International Transactions in Operational Research*, 3, 1, pp. 1-21.
- Day, G.S. y Wensley, R. (1988): "Assessing Advantage: A Framework for Diagnostic Competitive Superiority". *Journal of Marketing*, Vol. 52, abril, pp.188-199.
- Delgado, M.; Herrera, F.; Herrera-Viedma, E. y Martínez, L. (1998): "Combining Numerical and Linguistic Information in Group Decision Making". *Information Sciences*, nº 107, pp. 177-194.
- 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.
- Dorigo, M. y Gambardella, L.M. (1997a): "Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Travelling Salesman Problem". *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 1, nº 1, abril.
- 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, nº 2, pp. 29-41.



- Gold, B. (1987): "Approaches to Accelerating Product and Process Development". *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 4, marzo, pp. 81-88.
- Herrera, F. y Martínez, L. (1999): "A 2-tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words". *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8 (6), pp. 746-752.
- Herrera, F. y Martínez, L. (1999): "A Selection Method based on the 2-tuple Linguistic Representation Model for Decision-Making with Multi-Granularity Linguistic Information". *Proceedings of EUSFLAT-ESTYLF Joint Conference 99*, Palma de Mallorca (Spain), Septiembre, pp. 453-456.
- Lambin, J. (1991): "*Marketing Estratégico*". McGraw-Hill, Madrid.
- Maidique, M.A. y Zirger, B.J. (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.
- Martínez, L. (1999): "Un Nuevo Modelo de Representación de Información Lingüística basado en 2-tuplas para la Agregación de Preferencias Lingüísticas". *Tesis Doctoral*. Universidad de Granada.
- Mendaña Cuervo, C. (2000): "*Modelos de gestión basados en tecnologías bio-inspiradas para el desarrollo de nuevos productos*". Servicio de Publicaciones, Universidad de León.
- Montoya-Weiss, M. y Calantone, R. (1994): "Determinants of New Product Performance: A Review and Meta-analysis". *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 11.
- Page, A.L. (1993): "Assessing New Product Development Practices and Performance: Establishing Crucial Norms". *Journal of Product Innovation Management*, 10, 4, pp. 273-290.
- Sánchez, R. (1995): "Strategic Flexibility in Product Competition". *Static Management Journal*. Vol. 16, verano, pp.135-159.
- Santos, M.L. y Vázquez, R. (1997): "Factores Condicionantes del Resultado de Nuevos Productos en las Empresas de Alta Tecnología". *Revista Española de Investigación de Marketing ESIC*, Vol. 1.
- Stützle, T. y Dorigo, M. (1992a): "*ACO Algorithms for the Travelling Salesman Problem*". Université Libre de Bruxelles, Bélgica.
- Stützle, T. y Dorigo, M. (1992b): "*ACO Algorithms for the Quadratic Assignment Problem*". Université Libre de Bruxelles, Bélgica.
- Torra, V. (1996): "Negation Functions Based Semantics for Ordered Linguistic Labels". *International Journal of Intelligent Systems*, 11, pp. 975-988.

- Urban, G.L.; Carter, T.; Gaskins, S. y Mucha, Z. (1986): "Market Share Rewards to Pioneering Brands: An Empirical Analysis and Strategic Implications". *Management Science*, Vol. 32, pp. 645-659.
- Wind, Y. y Mahajan, V. (1988): "New Product Development Process: A Perspective for Reexamination". *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 5, diciembre, pp. 304-310.
- Zadeh, L.A. (1975): "The Concept of a Linguistic Variable and its Applications to Approximate reasoning". Parte 1, *Information Sciences* 8, pp. 199-249, Parte II, *Information Sciences* 8, pp. 301-357, Parte III, *Information Sciences* 9, pp. 43-80.