



## APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA COMPENSATORIA EN LA SELECCIÓN DE OFERTAS DE ARMADURAS ÓPTICAS

### Resumen / Abstract

Para tomar las decisiones correctas en las compras es necesaria la evaluación de los proveedores, para lo cual no está establecido un método actualmente en la UEB Comercializadora de Artículos Ópticos, provocando que existan altos niveles de artículos rechazados por incumplimiento de especificaciones de calidad. El objetivo es diseñar un modelo para evaluar la calidad de las armaduras ópticas contribuyendo a la mejor selección de las ofertas de los proveedores, convirtiéndose en un método para evaluarlos. A partir del criterio de expertos y de la Norma ISO 12870: 1998, se obtuvo un modelo basado en Lógica Difusa Compensatoria (LDC), que permite evaluar la calidad de las armaduras ópticas e incluso establecer un orden de importancia a partir de cuán cierto es que la armadura X tiene buena calidad.

*For making the right decisions when it comes to buying, it is necessary to assess the suppliers, but the organization has not stated a method to do so, causing high levels of rejected products for quality specifications non-fulfilment. The main goal is to build a model to assess the quality of optic armours. From the experts criterion and the Norma ISO 12870: 1998, a CFL-based model was obtained which allows assessing the quality of armours and even to establish an order concerning the quality.*

### Palabras clave / Key words

Lógica Difusa Compensatoria, Gestión de Compras, Evaluación de Proveedores, Método Delphi.

*Compensatory fuzzy logic, purchase management, supplier assessment, delphi method.*

### INTRODUCCIÓN

En toda empresa uno de los procesos más importantes es el relacionado con las compras, ya que se encuentra directamente relacionado con la futura calidad de la producción o el servicio que se brinde. Este proceso adquiere aún más importancia cuando se trata de una empresa que se dedica exclusivamente a la comercialización, como es el caso de la entidad objeto de estudio en este trabajo: la UEB (Unidad Empresarial de Base) Comercializadora de Artículos Ópticos, ubicada en la Ave. 81 y 274, El Cano, La Lisa. Esta unidad pertenece al Ministerio de la Industria Básica (MINBAS); su misión es comprar, almacenar y distribuir a nivel nacional artículos ópticos a las unidades presupuestadas de Farmacia, Óptica y otras instituciones de salud, dando solución a los defectos visuales de la población y de esa manera contribuir a una mejor calidad de vida. Precisamente en la actividad de compra se centra este trabajo, ya que resulta de gran importancia para la entidad diseñar mecanismos que permitan realizar de manera más eficiente y efectiva esta actividad. La entidad adquiere por importaciones toda la materia prima, productos semiterminados y terminados, a través de la empresa MEDICUBA, la cual pertenece al Ministerio de Salud Pública.

**Kety M. Gil Guzmán**, Ingeniera Química, Especialista Principal en Gestión de la Calidad, UEB Comercializadora de Artículos Ópticos, Ciudad de La Habana, Cuba.  
e-mail: uebticoptico@infomed.sld.cu

**Adrian Chao Bataller**, Ingeniero Industrial, Profesor Instructor, Centro de Estudios de Técnicas de Dirección, (CETDIR), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (Cujae), Ciudad de La Habana, Cuba.  
e-mail: acbataller@ind.cujae.edu.cu

**Salvador Muñoz Gutiérrez**, Licenciado en Economía, Doctor en Ciencias Económicas, Profesor Auxiliar, Centro de Estudios de Técnicas de Dirección (CETDIR), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (Cujae), Ciudad de La Habana, Cuba.  
e-mail: salvador@ind.cujae.edu.cu

**Rafael A. Espín Andrade**, Licenciado en Matemática, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudios de Técnicas de Dirección, (CETDIR), Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (Cujae), Ciudad de La Habana, Cuba.  
e-mail: espin@ind.cujae.edu.cu

Recibido: 07/05/2010

Aprobado: 15/10/2010

Uno de los pasos fundamentales para tomar las decisiones correctas en las compras es la evaluación de los proveedores, para lo cual no está establecido un método actualmente, solo se realiza una evaluación de manera empírica, basado en registros anteriores, lo cual trae como consecuencia que existan altos niveles de artículos rechazados por incumplimiento de las especificaciones de calidad.

Por lo tanto el objetivo del trabajo es diseñar un modelo que permita evaluar la calidad de las armaduras de cada uno de los modelos que se importan, para contribuir a la mejor selección de las ofertas. A partir del conocimiento de los expertos y el conocimiento que se encuentra registrado en la Norma ISO:12870 de Requisitos Generales y Métodos de Ensayo de Montura de Gafas [1], se obtuvo un modelo basado en Lógica Difusa Compensatoria que permite evaluar la calidad de las armaduras e incluso establecer un orden lógico de importancia a partir de cuán cierto es que la armadura X tiene buena calidad.

### 1. Gestión de Compras

El departamento de compras es el subsistema encargado de adquirir los productos y gestionar los servicios necesarios para el correcto funcionamiento de la empresa, para que ésta pueda conseguir los objetivos propuestos. Los productos y servicios necesarios están en función, por un lado, del tamaño de la unidad económica y de otro, de la actividad principal (industrial, comercial o de servicios).

Las palabras clave del aprovisionamiento son costo, calidad y plazos; por eso cuando la empresa necesita adquirir bienes o servicios, tiene que dar los pasos necesarios para encontrar los proveedores que fabrican o venden los materiales, y debe hacer un estudio de las ofertas recibidas, seleccionar al proveedor y negociar la compra, entre otras actividades.

Según lo anterior, el proceso de compras consta de las siguientes fases [2]:

- **Planificación de las compras.** Consiste en hacer un estudio anticipado de las necesidades; de esta forma puede informarse sobre los productos existentes en el mercado y estar preparado antes de que surja la necesidad.

- **Análisis de las necesidades.** Las compras generalmente se centralizan en el departamento de compras o aprovisionamiento. Éste recibe de los distintos usuarios internos (fabricación, almacén, ventas...), los boletines de solicitud de materiales y analiza la prioridad de las peticiones para tramitar su gestión.

- **Solicitud de ofertas y presupuesto.** Cuando se trata de una compra de alto costo o se adquiere por primera vez un producto, la solicitud de ofertas y presupuesto es un paso obligado para evitar tomar decisiones que pueden afectar a la economía de la empresa.

- **Evaluación de las ofertas recibidas.** Una vez recibidas las ofertas hay que estudiarlas, analizarlas, compararlas y examinarlas. Para que la evaluación resulte más fiable evitaremos solicitar un número excesivo de ofertas o hacer una preselección, descartando aquellas que incluyan condiciones inadmisibles para los objetivos de la empresa.

- **Selección del proveedor.** Los factores que se comparan durante la fase de selección son el precio, la calidad, las condiciones y las garantías personales de la empresa que suministrará el producto.

- **Negociación de las condiciones.** Durante esta fase se comentan y especifican algunos puntos de la oferta que pueden ser negociables, como la cantidad mínima y máxima de venta establecida por el proveedor, la forma de pago, el embalaje, la fecha de entrega, el servicio, las reposiciones, entre otros.

- **Solicitud del pedido.** Cuando el comprador y el vendedor han llegado a un acuerdo deben formalizar un documento que comprometa a ambas partes. Este documento puede ser el contrato de compraventa o un pedido en firme.

- **Seguimiento del pedido y los acuerdos.** El seguimiento se hace para verificar que hemos recibido todo el material solicitado, que se corresponde a las características detalladas en el pedido y que se han suministrado a tiempo. También debemos comprobar que el proveedor mantiene las condiciones pactadas o los acuerdos que figuran en el documento, respecto a reposición de suministro, precios y plazos de cobro, entre otros.

### 2. Evaluación de Proveedores

Los proveedores son personas o entidades encargadas de suministrar las materias primas, servicios y repuestos, entre otros; necesarios para que la empresa pueda desarrollar su actividad normalmente. Son los encargados de mantener viva y activa la organización y por lo tanto, su importancia radica en el papel que desempeñan en la existencia y en el futuro de la empresa [3].

La evaluación y selección de proveedores constituye en la gestión de compras una decisión de amplia repercusión para la empresa. Esta decisión no sólo influye en la capacidad de producir a bajo costo, sino para garantizar los niveles de calidad, estabilidad e innovación que se requieren para obtener alta competitividad.

El primer paso para la búsqueda y selección de proveedores es el estudio del mercado de productos. Este análisis consiste en reunir y analizar las informaciones relativas a la producción, distribución y venta de un determinado artículo o material. Para conseguirlos es recomendable efectuar visitas y evaluar la capacidad tecnológica, económica y comercial de los proveedores.

### 3. Situación actual en relación a los proveedores

Uno de los pasos fundamentales para lograr el éxito en las compras es la evaluación de los proveedores. En este momento en la entidad no existe un método establecido para llevar a cabo esta actividad, la cual se realiza de manera empírica basada en registros anteriores. Por esta razón, tampoco existe una carpeta actualizada donde estén todos los proveedores clasificados por artículos y además la evaluación realizada anualmente por los especialistas de calidad y de comercial de la entidad. La evaluación de los proveedores no se realiza correctamente, solo se analizan los que tienen productos rechazados.

En la entidad existen productos rechazados por incumplimiento de las especificaciones de calidad valorados en \$ 426,554.33, lo cual afecta la capacidad del almacén, ya que ocupa un espacio de 59.12 m<sup>3</sup> de estantería, influyendo además negativamente en el nivel de satisfacción de las necesidades de la población.

Con respecto al servicio, en estos momentos el ciclo de reaprovisionamiento del pedido está aproximadamente en 706 días como promedio. Esto trae como consecuencia que no se puedan realizar pedidos urgentes a los proveedores.

## APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA COMPENSATORIA EN LA SELECCIÓN DE OFERTAS DE ARMADURAS ÓPTICAS

Es conveniente mantener una relación sólida con los proveedores para lograr satisfacer los niveles de exigencia de los clientes.

En esta actividad se agrupan los productos que ya vienen con un código para su mejor manipulación, teniendo en cuenta el tipo de demanda a la cual pertenecen. Mediante esto se logra hacer coincidir los productos con los mejores proveedores, partiendo del criterio de los especialistas de los grupos de Calidad y Comercial, en cuanto a facilidad de pago, ciclo del pedido, la calidad de los productos y la fiabilidad en cuanto a la documentación del producto.

Una vez analizadas las existencias, los proveedores, los artículos de muestra mandados con antelación por los proveedores y el presupuesto del Estado para el año a contratar; se elabora el pedido por el Grupo Comercial. Éste se discute en el Consejo de Dirección de la Comercializadora, donde están los especialistas y una representación de los distintos sectores de la institución, para determinar las necesidades y el tiempo en que debe llegar. Una copia de este documento se archiva en el Departamento de Comercial y después se presenta a la Dirección Nacional de Farmacia y Ópticas perteneciente al Ministerio de Salud Pública (MINSAP), que es la que se encarga de brindar la información concerniente al presupuesto que asigna el estado para la adquisición de los artículos ópticos en el mercado internacional.

Cuando este documento llega a la Dirección Nacional de Farmacia y Ópticas con las necesidades exactas de la UEB, se discute con el comercial de esta entidad en la importadora (MEDICUBA) para ser aprobado; si las necesidades son menores o mayores que el presupuesto que se deposita, entonces se debe rediseñar el pedido, y así ajustarse a ese presupuesto asignado. Después de ser aprobado se pasan las necesidades al documento oficial para las compras en el extranjero. Este trámite se realiza por parte de MEDICUBA.

#### 4. Determinación de las características de calidad de las armaduras

En este epígrafe se lleva a cabo la aplicación del Método Delphi (método de expertos). El objetivo de la aplicación de este método es obtener el más confiable consenso de opiniones de un grupo de expertos de la empresa, acerca de las características de calidad de las armaduras; las cuales serán utilizadas posteriormente para la elaboración de un modelo lógico que contribuirá a tomar mejores decisiones a la hora de evaluar a los proveedores. Consiste en un proceso iterativo de rondas donde se le realizan encuestas a cada experto de forma individual evitando la interacción entre ellos. A continuación se muestran los pasos de la aplicación del método.

##### 4.1. Determinación del objetivo de la aplicación del método

Como ya se ha expresado en la introducción de este epígrafe, el objetivo es determinar las características de calidad de las armaduras ópticas, para luego construir un modelo lógico que contribuya a una mejor evaluación de las ofertas.

##### 4.2. Seleccionar el Grupo de Análisis (GA)

El Grupo de Análisis está conformado por la Especialista Principal de Gestión de la Calidad de la entidad, junto con el resto de los autores de este trabajo. Todos se encuentran

identificados con el objetivo de trabajo definido anteriormente.

##### 4.3. Selección de los expertos

Se seleccionaron siete entre los expertos con que se cuenta en la entidad. Esta cantidad de expertos es la recomendada en la literatura [4].

##### 4.4. Primera Ronda

El objetivo de esta ronda es determinar la primera versión de la lista de las características de calidad de las armaduras ópticas. Para esto existen dos Salidas del Grupo de Análisis (documentación que se envía al grupo de expertos):

- Conformar una larga lista de características de calidad a partir de un estudio y que los expertos seleccionen las más importantes.
- Preguntarle a los expertos cuáles deben ser las características de calidad según su punto de vista.

En el GA se decidió utilizar la segunda opción por ser ésta una actividad exclusiva de esta empresa. Por lo tanto, se le entregó a cada experto un documento con la siguiente pregunta:

- ¿Cuáles son las características de calidad que usted cree debe presentar una armadura óptica?

Como resultado de esta ronda se obtuvo una lista (sin un orden específico) que recoge las características de calidad de las armaduras ópticas. Esta lista es la que se utiliza como base para realizar la segunda ronda que aparece a continuación.

##### 4.5. Segunda Ronda

En esta segunda ronda se les presentó a los expertos el listado de las características de calidad de las armaduras obtenido en la primera ronda, el cual se muestra en la Tabla 1, y se les preguntó si estaban de acuerdo o no con que esas fueran las características de calidad.

| <b>FACTORES</b>   | <b>SÍ</b> | <b>NO</b> |
|---|-----------|-----------|
| Color de la armadura.   |           |           |
| Acabado de la armadura.   |           |           |
| Diseño de la armadura en correspondencia con el sexo y la edad. |           |           |
| Durabilidad de la armadura.                                     |           |           |
| Tipo de recubrimiento.  |           |           |
| Tipo de material.   |           |           |
| Correspondencia con la moda actual.                             |           |           |
| Variedad de los modelos.  |           |           |
| Ajuste de componentes de las armaduras.                         |           |           |
| Flexibilidad de la armadura.                                    |           |           |
| Soldadura.  |           |           |

Luego se aplicó un coeficiente empírico  $C$  (por fila) para determinar si hay consenso entre los expertos acerca de las características presentadas. Existe un coeficiente para cada característica, el cual se obtiene mediante la Expresión 1.

$$C = 1 - \frac{V_N}{V_T} \quad (1)$$

Donde:

$V_N$ : cantidad de votos negativos.

$V_T$ : cantidad total de expertos.

Si se cumple que  $C > 0.6$ , entonces hay consenso entre los expertos con respecto a las características analizadas y la que no cumpla debe ser desestimada, lo cual se lleva a votación en el GA. En la Tabla 2 se muestra el resultado de la votación de los expertos y el cálculo de los coeficientes.

| FACTORES   | C       |
|--|---------|
| 1. Color de la armadura.   | 100.00% |
| 2. Acabado de la armadura.   | 100.00% |
| 3. Diseño de la armadura en correspondencia con el sexo y la edad. | 100.00% |
| 4. Durabilidad de la armadura.                                     | 71.43%  |
| 5. Tipo de recubrimiento.  | 85.71%  |
| 6. Tipo de material.   | 85.71%  |
| 7. Correspondencia con la moda actual.                             | 71.43%  |
| 8. Variedad de los modelos.  | 57.14%  |
| 9. Ajuste de los componentes de las armaduras.                     | 100.00% |
| 10. Flexibilidad de la armadura.                                   | 71.43%  |
| 11. Soldadura.   | 100.00% |

Como se puede apreciar en la tabla, existe consenso entre los expertos en cuanto a todas las características de calidad excepto la número 8 (*Variedad de los modelos*), ya que su coeficiente (57.14%) es menor que el 60% requerido para que exista consenso, por lo tanto esta característica será desestimada en la tercera ronda. Es lógico que esto suceda ya que esta no es una característica inherente a un solo modelo, sino a un conjunto de los mismos.

#### 4.6. Tercera Ronda

El objetivo de esta ronda es determinar el orden de importancia, el cual se determina mediante la asignación de valores a las diferentes características. Los expertos pueden asignar el mismo valor a características que consideren con igual influencia (esto se conoce en Estadística como *valoraciones ligadas*), aunque según Cuesta (1997) [4] se insiste en que no deben ocurrir "ligas", pues se reduciría el poder de ordenamiento o discriminación. En este caso, mayor valor asignado implica mayor importancia. A cada juez o experto se le entregó un modelo con el listado de las características presentadas en la Tabla 3, que quedaron de la segunda ronda con la siguiente orientación:

- Considere cada una de las siguientes características, otorgando valor 9 a la más importante, valor 8 a la que sigue en orden de importancia, hasta el valor 1 que corresponderá a la menos importante.

| CARACTERÍSTICAS   | ORDEN OTORGADO (valor) |
|---|------------------------|
| Color de la armadura.   |                        |
| Acabado de la armadura.   |                        |
| Diseño de la armadura en correspondencia con el sexo y la edad. |                        |
| Durabilidad de la armadura.                                     |                        |
| Tipo de recubrimiento.  |                        |
| Tipo de material.   |                        |
| Ajuste de los componentes de las armaduras.                     |                        |
| Flexibilidad de la armadura.                                    |                        |
| Soldadura.  |                        |

Con posterioridad al llenado del modelo, el GA procedió a conformar la matriz de valoraciones con la integración de los juicios de los expertos, lo cual se puede apreciar en la Tabla 4.

A partir de la matriz de valoraciones se planteó la dócima de hipótesis y se ejecutó el algoritmo para determinar si hay concordancia o no entre los expertos.

- Dócima de Hipótesis:

$H_0$ : No hay concordancia entre los expertos

$H_1$ : Hay concordancia entre los expertos

| CARACTERÍSTICAS   | EXPERTOS |   |   |   |   |   |   |
|---|----------|---|---|---|---|---|---|
|   | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Color de la armadura.   | 7        | 1 | 3 | 1 | 5 | 3 | 6 |
| Acabado de la armadura.   | 9        | 4 | 9 | 8 | 7 | 7 | 9 |
| Diseño de la armadura en correspondencia con el sexo y la edad. | 6        | 9 | 7 | 9 | 6 | 9 | 8 |
| Durabilidad de la armadura.                                     | 8        | 5 | 4 | 7 | 9 | 8 | 7 |
| Tipo de recubrimiento.  | 5        | 3 | 1 | 4 | 3 | 6 | 2 |
| Tipo de material.   | 4        | 2 | 8 | 6 | 8 | 5 | 3 |
| Correspondencia con la moda                                     | 6        | 3 | 7 | 8 | 8 | 7 | 8 |
| Ajuste de los componentes de las armaduras.                     | 1        | 6 | 5 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| Flexibilidad de armadura.                                       | 3        | 8 | 2 | 2 | 4 | 4 | 5 |
| Soldadura.  | 2        | 7 | 6 | 5 | 2 | 1 | 4 |

El algoritmo quedaría de la siguiente forma:

1. Determinar  $N$  y  $K$ , ordenándose los rangos observados en una tabla  $K \times N$ .  
 $N=10$  y  $K=7$
2. Para cada característica determinar  $R_j$  (la suma de los rangos asignados a ese factor por los  $K$  jueces), como se expone en la Tabla 5.
3. Determinar la media de los  $R_j$ . Se expresa cada  $R_j$  como una desviación de la media, éstas se elevan al

## APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA COMPENSATORIA EN LA SELECCIÓN DE OFERTAS DE ARMADURAS ÓPTICAS

cuadrado y los cuadrados se suman para obtener  $S$ , según la Expresión 2. En la Tabla 5 se encuentran todos los valores, los cuales fueron calculados automáticamente en una hoja de cálculo de Excel.

$$S = \sum_{j=1}^n \left( R_j - \frac{\sum R_j}{N} \right)^2 \quad (2)$$

4. Analizar la *Región Crítica* para tomar la decisión acerca del consenso, siendo:

- *Región Crítica (RC)*:

Para  $N \leq 7$  se utiliza:  $S > S^*$

En este caso, como  $N=7$  se utiliza este criterio. Luego se busca el valor de  $S^*$  en la tabla de valores críticos de  $S$  para prueba de concordancia de Kendall, entrando con  $N=10$  y  $K=7$ . Después de comparar ambos valores con un nivel de confianza del 99%, como  $S > S^*$  ( $5481 > 737$ ) esto significa que se cumple la región crítica, por lo que se rechaza  $H_0$ ; lo cual significa que hay concordancia entre los expertos.

5. Calcular el coeficiente  $C$  para establecer el orden de importancia, mientras mayor sea éste, más importancia tiene la característica. Donde:

$$C = \frac{R_j}{\sum R_j} \quad (3)$$

Una vez realizados todos los cálculos y habiendo determinado que existe concordancia entre los expertos, se procede al ordenamiento de las características de calidad de las armaduras ópticas a partir del coeficiente  $C$ , comenzando por la más importante y considerando que un coeficiente  $C$  mayor indica un mayor grado de importancia. Los resultados se muestran en la Tabla 6, los cuales se mostraron a los expertos y quedaron satisfechos con el estudio realizado, pues lo obtenido coincide con la práctica diaria y la experiencia adquirida durante 20 años de labor.

Este conocimiento extraído de los expertos (se ha convertido el conocimiento tácito en explícito), resulta de gran importancia para la realización del modelo de evaluación de la calidad de las armaduras para contribuir a una mejor selección de las ofertas de las armaduras ópticas.

### 5. Lógica Difusa Compensatoria

Como se ha expresado anteriormente, la Toma de Decisiones, junto a la Gestión del Conocimiento y el Descubrimiento de Conocimiento, forman las bases para la Inteligencia Organizacional Semántica. Después de haber realizado un análisis crítico de cada una de estas temáticas y otras estrechamente relacionadas, se propone un nuevo enfoque basado en una lógica multivalente que se distancia de la manera usual de trabajar en este campo del conocimiento. Se ha denominado Lógica Difusa Compensatoria (LDC) a esta nueva propuesta. El enfoque teórico multivalente que se ofrece relaciona de manera natural el pensamiento deductivo y las preferencias humanas.

**TABLA 5**  
Valoración de las características (muestra los cálculos realizados en Excel)

| CARACTERÍSTICAS   | $R_j$      | $C$          | $R_j - \frac{\sum R_j}{N}$ | $(R_j - \frac{\sum R_j}{N})^2$ |
|---|------------|--------------|----------------------------|--------------------------------|
| Color de la armadura.   | 34         | <b>0.088</b> | -21.00                     | 441.00                         |
| Acabado de la armadura.   | 26         | <b>0.068</b> | -29.00                     | 841.00                         |
| Diseño de la armadura en correspondencia con el sexo y la edad. | 29         | <b>0.075</b> | -26.00                     | 676.00                         |
| Durabilidad de la armadura.                                     | 35         | <b>0.091</b> | -20.00                     | 400.00                         |
| Tipo de recubrimiento.  | 51         | <b>0.132</b> | -4.00                      | 16.00                          |
| Tipo de material.   | 12         | <b>0.031</b> | -43.00                     | 1849.00                        |
| Correspondencia con la moda                                     | 47         | <b>0.122</b> | -8.00                      | 64.00                          |
| Ajuste de los componentes de las armaduras.                     | 62         | <b>0.161</b> | 7.00                       | 49.00                          |
| Flexibilidad de la armadura.                                    | 66         | <b>0.171</b> | 11.00                      | 121.00                         |
| Soldadura.  | 23         | <b>0.060</b> | -32.00                     | 1024.00                        |
| <b>Sumatoria</b>  | <b>385</b> |              | <b>S</b>                   | <b>5481.00</b>                 |

**TABLA 6**  
Ordenamiento de las armaduras a partir del grado de importancia

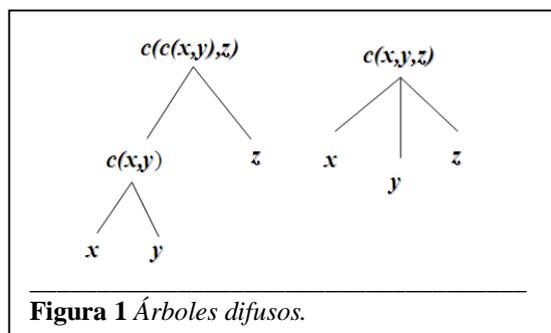
| CARACTERÍSTICA  | $C$   |
|---|-------|
| Flexibilidad de la armadura.                                    | 0.171 |
| Ajuste de los componentes de las armaduras.                     | 0.161 |
| Tipo de recubrimiento.  | 0.132 |
| Correspondencia con la moda                                     | 0.122 |
| Durabilidad de la armadura.                                     | 0.091 |
| Color de la armadura.   | 0.088 |
| Diseño de la armadura en correspondencia con el sexo y la edad. | 0.075 |
| Acabado de la armadura.   | 0.068 |
| Soldadura.  | 0.060 |
| Tipo de material.   | 0.031 |

Son dos las características que principalmente dificultan el uso de los enfoques lógicos en la modelación de la decisión: la propiedad asociativa de los operadores conjunción y disyunción utilizados y la ausencia total de compensación de los valores de verdad de los predicados básicos cuando se calcula la veracidad de los predicados compuestos haciendo uso de los operadores.

La asociatividad característica de una gran parte de los operadores utilizados para la agregación, determina que árboles de jerarquía de objetivos, que representan preferencias diferentes, produzcan valores de verdad iguales en sus predicados compuestos. Bajo la propiedad de asociatividad los dos árboles de la Figura 1 representarían las mismas preferencias, algo inapropiado en un modelo de toma de decisiones.

La falta de compensación es una dificultad seria de un modelo que pretenda normar o describir la realidad del modo de pensar que lleva a la decisión; los enfoques

clásicos de la Teoría de la Decisión, la base del pensamiento normativo, incluyen modelos como los aditivos, los cuales aceptan la compensación sin límites. Por otro lado, los enfoques descriptivos aceptan la compensación parcial, que parece más afín al razonamiento de los agentes reales. Se puede aceptar o no la compensación total que dimana de los mencionados modelos aditivos de valor o de utilidad, pero hay que admitir al menos su presencia parcial.



Los elementos explicados sugieren que para su aplicación a la toma de decisiones, es deseable la creación de sistemas lógicos multivalentes no asociativos, y que faciliten la compensación de los valores de verdad de unos predicados básicos con otros. La Lógica Compensatoria es una Lógica Multivalente que satisface estos requerimientos. Ésta se propone como un enfoque lógico de la decisión, que une la modelación de la decisión y el razonamiento.

Entre los axiomas más importantes que componen este nuevo enfoque se encuentra el Axioma de Compensación, observándose que para el caso particular de dos componentes, el hecho de que el valor del operador se encuentre entre el mínimo y el máximo, puede interpretarse como que el segundo valor compensa el valor del primero en la veracidad de la conjunción. Esta idea se generaliza al caso de  $n$  componentes. La introducción del Axioma de Crecimiento Estricto dota al sistema de una sensibilidad que hace que cualquier variación en los valores de los predicados básicos modifique el valor de verdad del predicado compuesto, siempre que ninguno de los predicados básicos tenga valor cero. Como consecuencia de este axioma se tiene además la deseada propiedad de no asociatividad porque no existen operadores compensatorios asociativos estrictamente crecientes. El Axioma de Veto otorga a cualquier predicado básico de una conjunción la capacidad de vetar, es decir la capacidad de impedir cualquier forma de compensación cuando su valor es igual a cero [5].

Además, la función  $o(x,y)$  definida para el orden estricto permite medir “cuánto mejor es  $x$  que  $y$ ”. Si  $o(x,y)=0.5$  entonces  $x$  y  $y$  se considerarían indiferentes. Esta es una de las grandes ventajas de esta propuesta, ya que este orden lógico puede ser interpretado de manera más general para comparar las veracidades de afirmaciones modeladas a través de predicados. Es un instrumento ordinal que establece una relación coherente entre las preferencias del decisor y las veracidades atribuidas a su conocimiento. Estos elementos aparecen separados en los modelos teóricos que se han propuesto antes.

Por otro lado, la satisfacción del Teorema de Compatibilidad con la Lógica Booleana, distingue la LDC como Lógica Multivalente, ya que ningún otro sistema había demostrado una propiedad de carácter general como este teorema.

Este nuevo enfoque, además de aportar un sistema formal con propiedades lógicas de notable interés, constituye un puente entre la Lógica y la Toma de Decisiones. La LDC entra a formar parte del arsenal de métodos para la evaluación multicriterio, adecuándose especialmente a aquellas situaciones en que el *Decision Maker* puede describir verbalmente, frecuentemente en forma ambigua, la heurística que utiliza cuando ejecuta acciones de evaluación/clasificación multicriterio. Sin embargo, la consistencia de la plataforma lógica dota a esta propuesta de una capacidad de formalización del razonamiento que rebasa los enfoques descriptivos de los procesos de decisión. Es una oportunidad para usar el lenguaje como elemento clave de comunicación en la construcción de modelos semánticos que faciliten la evaluación, la toma de decisiones y el descubrimiento de conocimiento.

A partir de la LDC se han elaborado varios modelos con aplicaciones prácticas como: SWOT-OA, Competitividad (BIOMUNDI), Evaluación Integral de Proyectos, Índices de Desarrollo Sostenible Local, Evaluación del Aprendizaje, Tratamiento de imágenes de Resonancia Nuclear Magnética para el descubrimiento de sustancias cerebrales utilizando algoritmos genéticos como métodos de búsqueda, entre otros. Las herramientas informáticas desarrolladas a partir de la LDC son: BIAS, ICpro y un programa Prolog para el descubrimiento de conocimiento y la búsqueda heurística [6].

## 6. Diseño del modelo de evaluación de la calidad de las armaduras a partir de la aplicación de la LDC

### 6.1. Definición de armadura óptica de buena calidad

Una armadura óptica tiene **buena calidad** si tiene un diseño adecuado, si tiene un buen acabado, si tiene buena resistencia mecánica y si está en correspondencia con la moda actual. En caso de que el diseño o el acabado fueran algo malos, esto debe ser compensado con una alta correspondencia con la moda actual. El **diseño** es adecuado si tiene las dimensiones que aseguren una adaptación confortable para una amplia gama de usuarios, si el peso es el adecuado (no exceda de 32 g), si la simetría es la correcta y si está fabricada con el tipo de material adecuado. La armadura tiene un buen **acabado** si tiene un buen recubrimiento, si tiene un buen lacado y decorado, si el ajuste de todos sus componentes es apropiado y si la presencia protuberancias cortantes es prácticamente nula. La armadura tiene un buen recubrimiento si es mínima la existencia de poros, grietas y corrosión. Tiene un buen lacado y decorado si el corrimiento de la pintura o la laca son prácticamente inapreciables y si la pérdida de lustre es prácticamente nula. La armadura X tiene buena **resistencia mecánica** si presenta características aceptables de retención de las lentes, si no presenta roturas en ningún punto, si no sufre deformación respecto a su diseño original.

### 6.2. Definición del predicado a evaluar

C(X): La armadura X tiene buena calidad.

### 6.3. Definición de los predicados compuestos

D(X): La armadura X tiene un diseño adecuado.

## APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA COMPENSATORIA EN LA SELECCIÓN DE OFERTAS DE ARMADURAS ÓPTICAS

A(X): La armadura X tiene un buen acabado.

RM(X): La armadura X tiene buena resistencia mecánica.

M(X): La armadura X está en correspondencia con la moda actual.

### 6.4. Modelo del predicado compuesto a evaluar

El modelo del predicado compuesto a evaluar es el reflejado en la Expresión 4.

$$C(X) = D(X) \wedge A(X) \wedge RM(X) \wedge M(X) \wedge \left[ \left( \neg D^{0.5}(X) \vee \neg A^{0.5}(X) \right) \rightarrow M^2(X) \right] \quad (4)$$

### 6.5. Descripción de los predicados compuestos y predicados simples asociados

D(X): La armadura X tiene un diseño adecuado.

El **diseño** es adecuado si tiene las dimensiones que aseguren una adaptación confortable para una amplia gama de usuarios, si el peso es el adecuado (no exceda de 32 g), si la simetría es la correcta y si está fabricada con el tipo de material adecuado a la moda.

DI(X): La armadura X tiene unas dimensiones que aseguren una adaptación confortable para una amplia gama de usuarios.

P(X): La armadura X tiene un peso adecuado.

S(X): La armadura X tiene una simetría correcta.

MA(X): La armadura X está fabricada con el tipo de material adecuado.

Por lo tanto, el diseño queda expresado de la siguiente forma:

$$D(X) = DI(X) \wedge P(X) \wedge S(X) \wedge MA(X) \quad (5)$$

A(X): La armadura X tiene un buen acabado.

La armadura tiene un buen **acabado** si tiene un buen recubrimiento, si tiene un buen lacado y decorado, si el ajuste de todos sus componentes es apropiado y si la presencia protuberancias cortantes es prácticamente nula. La armadura tiene un buen recubrimiento si es mínima la existencia de poros, grietas y corrosión. Tiene un buen lacado y decorado si el corrimiento de la pintura o la laca son prácticamente inapreciables y si la pérdida de lustre es prácticamente nula. Si el ajuste de los componentes fuera algo malo, esto debe ser compensado con un muy buen recubrimiento o un muy buen lacado. A continuación se definen cada uno de los predicados relacionados con el acabado:

R(X): La armadura X tiene un buen recubrimiento.

MP(X): La armadura X tiene un mínimo de existencia de poros.

MG(X): La armadura X tiene un mínimo de existencia de grietas.

MC(X): La armadura X tiene un mínimo de existencia de corrosión.

Por lo tanto, el recubrimiento queda expresado de la siguiente forma:

$$R(X) = MP(X) \wedge MG(X) \wedge MC(X) \quad (6)$$

LD(X): La armadura X tiene un buen lacado y decorado.

CP(X): En la armadura X el corrimiento de la pintura o la laca son prácticamente inapreciables.

L(X): En la armadura X la pérdida de lustre es prácticamente nula.

Por lo tanto, el lacado y decorado queda expresado de la siguiente forma:

$$LD(X) = CP(X) \wedge L(X) \quad (7)$$

Una vez definidos los predicados compuestos R(X) y LD(X), solo queda definir los predicados simples que aparecen a continuación:

AC(X): La armadura X presenta un apropiado ajuste de sus componentes.

PC(X): La armadura X tiene una presencia prácticamente nula de protuberancias cortantes.

Por lo tanto, el acabado queda expresado de la siguiente forma:

$$A(X) = R(X) \wedge LD(X) \wedge AC(X) \wedge PC(X) \wedge \left[ \neg AC^{0.5}(X) \rightarrow R^2(X) \vee LD^2(X) \right] \quad (8)$$

RM(X): La armadura X tiene buena resistencia mecánica.

La armadura X tiene buena resistencia mecánica si presenta características aceptables de retención de las lentes, si no presenta roturas en ningún punto, si no sufre deformación respecto a su diseño original.

RL(X): La armadura X presenta características aceptables de retención de las lentes.

RO(X): La armadura X no presenta roturas en ningún punto.

DE(X): La armadura X no sufre deformación respecto a su diseño original.

$$RM(X) = RL(X) \wedge RO(X) \wedge DE(X) \quad (9)$$

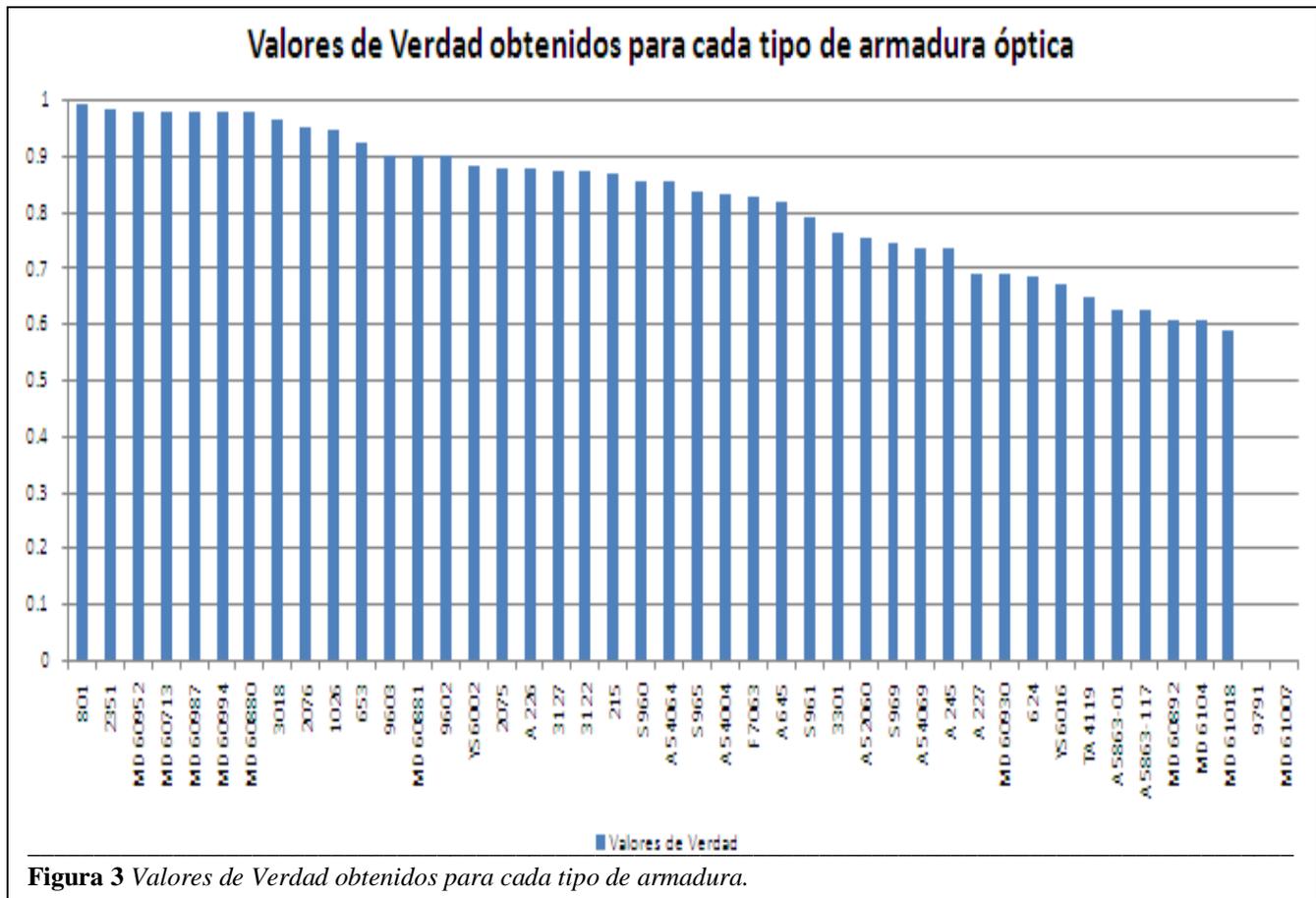
Después de describir todos los predicados y expresarlos en predicados lógicos, se construye el árbol difuso que se muestra en la Figura 2, donde aparecen relacionados todos los predicados.

### 7. Aplicación del modelo para evaluar la calidad de las armaduras ópticas

Una vez obtenido el modelo para evaluar la calidad de las armaduras, se seleccionaron 44 tipos de armaduras para procesarlas con el modelo, con el objetivo de determinar cuán cierto es que estas armaduras ópticas tienen buena calidad y obtener además un orden de prioridad a partir de los resultados del procesamiento. Para realizar el procesamiento de los datos se utilizó el ICpro, el cual es un sistema de análisis de datos con técnicas de Inteligencia Computacional; este software fue realizado por un grupo de investigadores de la Universidad de Mar del Plata (Argentina) dirigidos por el Ing. Gustavo Meschino [6]. El ICpro permite realizar tres tipos de proyectos, entre los que se encuentra el de Lógica de Predicados, el cual fue utilizado para insertar el modelo obtenido y procesar los datos de las armaduras ópticas. A continuación se muestran los pasos realizados a partir del Manual de Usuario del ICpro [7] y la propia experiencia de los autores en el trabajo con el mismo.



## APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA COMPENSATORIA EN LA SELECCIÓN DE OFERTAS DE ARMADURAS ÓPTICAS



**Figura 3** Valores de Verdad obtenidos para cada tipo de armadura.

### CONCLUSIONES

- Se comprobó que la evaluación de los proveedores en la entidad no se realiza, provocando que existan altos niveles de artículos rechazados por incumplimiento de las especificaciones de calidad.
- A partir del conocimiento de los expertos y la Norma ISO 12870: 1998 [1], se obtuvo un modelo basado en Lógica Difusa Compensatoria que permite evaluar la calidad de las armaduras e incluso establecer un orden lógico de importancia a partir de cuán cierto es que la armadura X tiene buena calidad. Con el ICpro se procesaron 44 tipos de armaduras, logrando establecer un listado desde la armadura de mayor calidad hasta la de menor.
- El modelo obtenido permite enriquecer la información acerca de los proveedores y tomar mejores decisiones acerca de cuántas armaduras comprar de cada tipo y cuáles se deben comprar, así como en qué medida una armadura es mejor que otra, etc.

### REFERENCIAS

1. UNE-EN ISO 12870 Montura de Gafas. Requisitos Generales y Métodos de Ensayo. 1998.
2. NAVARRO, E. "Mejoras en la Gestión de Compras". *Gestiopolis.com* [en línea]. 2001, Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/fin/gescompint.htm>

3. BALLOU, R. *Logística Empresarial. Control y Planificación*. Madrid: Editorial Diaz de Santos, 1991.
4. CUESTA, A. *Tecnología de Gestión de los Recursos Humanos*. La Habana: Academia, 1997.
5. ESPÍN, R. y FERNÁNDEZ, E. "La Lógica Difusa Compensatoria: una plataforma para el razonamiento y la representación del conocimiento en un ambiente de decisión multicriterio". En: *Análisis Multicriterio para la Toma de Decisiones: Métodos y aplicaciones*. [s.l.]: P.y.V.e.y.U.d. Occidente, 2009. p. 14
6. MESHINO, G. *ICpro Framework de Análisis de Datos con Técnicas de Inteligencia Computacional*. Mar del Plata: [s.n.], 2008.
7. MESCHINO, G. *Manual de Usuario del ICpro*. Mar del Plata: Universidad de Mar del Plata, 2008.



<http://aprendist.cujae.edu.cu/home/index.htm>