

# La lógica difusa en la gestión de la cadena de suministros

Maritza Ortiz Torres<sup>1</sup> - Onailis Oramas Santos<sup>2</sup>  
(Universidad de La Habana - Cuba)

Recibido: 21 de enero de 2015. Revisado: 19 de febrero de 2015. Aceptado: 21 de marzo de 2015.

Puede citar el presente artículo así: / To reference this article: Ortiz, M. & Oramas, O. (2015). La lógica difusa en la gestión de la cadena de suministros. *Revista Gestión & Desarrollo*, 12, 53-68.

## Resumen

En el contexto global actual, marcado fundamentalmente por una intensa competencia por los mercados y clientes, la logística y con ella el aprovisionamiento y la gestión de comprase inventarios, han desempeñado un papel protagónico en un contexto dinámico como es la economía internacional, colmado de incertidumbre alrededor del comportamiento de las variables. El presente trabajo propone un procedimiento de evaluación de proveedores y un modelo de gestión de inventarios con herramientas de la teoría de los subconjuntos borrosos, que buscan conseguir los objetivos expuestos, cuyo objeto de investigación es una empresa comercial cubana. A efectos de la confidencialidad, no resulta conveniente revelar la identidad de la empresa ni la de los proveedores evaluados.

**Palabras clave:** difuso, inventario, optimización, proveedores.

**Código JEL:** C6, M110, C61, H40.

## The fuzzy sets in the supply chain management

### Abstract

In the current global context, mainly marked by intense competition for markets and customers, logistics and with it, the sourcing and procurement and inventory, reached a leading

1. Doctora en Ciencias Económicas. Máster en Administración de Negocio. Profesora titular, Departamento de Ciencias Empresariales, Facultad de Economía de la Universidad de La Habana. Correo electrónico: [maritza@fec.uh.cu](mailto:maritza@fec.uh.cu)
2. Licenciada en Economía, Profesora adiestrada de la Facultad de Economía de la Universidad de La Habana. Correo electrónico: [onailis@fec.uh.cu](mailto:onailis@fec.uh.cu)

role to a dynamic scenario of the international economy, grocery store uncertainty about the future behavior of the variables. This paper proposes a method for evaluating suppliers and inventory management model with tools of the theory of fuzzy subsets, which are taxed at achieving the above objectives; having investigated as a Cuban commercial company. For the purpose of the publication is not convenient to disclose the identity of the company or the providers evaluated.

**Keywords:** fuzzy, inventory, optimization, providers.

**JEL classification:** C6, M110, C61, H40.

## A lógica fuzzy na gestão da cadeia de abastecimento

### Resumo

No contexto global atual, marcado principalmente pela intensa competição por mercados e clientes, logística e com ele o provisionamento e gestão de compras e estoques, têm desempenhado um papel de liderança em um contexto dinâmico como a economia internacional, repleto de incerteza sobre o comportamento das variáveis. Este trabalho propõe um método para avaliar fornecedores e modelo de gestão de inventário com as ferramentas da teoria de subconjuntos difusos, buscando alcançar os objetivos acima referidos; o objeto da investigação é uma empresa comercial cubana. Para fins de confidencialidade, não é conveniente divulgar a identidade da empresa ou os fornecedores avaliados.

**Palavras-chave:** difuso, inventário, otimização, prestadores.

**Classificação JEL:** C6, M110, C61, H40.

### Introducción

La economía internacional, caracterizada por un conjunto de procesos que hacen de ella algo cada vez más complejo e incitan a la competencia entre las organizaciones, ha convertido a la logística empresarial en el principal protagonista, cuyo enfoque apunta especialmente a cada uno de los eslabones que componen la cadena de suministros (CS) y a la gestión de compras y de inventarios, pues constituyen áreas singulares para la reducción de costos y la elevación de la satisfacción de los clientes.

En tal sentido, la utilización de técnicas o modelos económico-matemáticos como esquemas cada vez más precisos y flexibles

se torna primordial, dada la diversidad y la complejidad del entorno. La matemática de la borrosidad concede la flexibilidad de la que se encuentran desprovistos los modelos de los ámbitos de la certeza y del riesgo.

Diversos son los autores que han tratado estos asuntos. Así, Petrovic *et al.* (1998); Petrovic *et al.* (1999); Petrovic (2001); Giannoccaro *et al.* (2003); Wang y Shu (2005) y Xie *et al.* (2006), abordan lo relacionado con la gestión de inventarios en la CS mediante el empleo de la aritmética fuzzy. Por su parte, Kumar *et al.* (2004); Amid *et al.* (2006) y Kumar *et al.* (2006) hacen alusión a la selección de proveedores en una CS empleando la programación por metas fuzzy.

En el caso de Cuba, se han efectuado aplicaciones en los ámbitos de gestión de recursos humanos, evaluación de proveedores y gestión de inventarios, entre otros. El presente trabajo expone algunos de los resultados de las investigaciones en los dos últimos temas y su validación en una empresa seleccionada.

## Materiales y métodos

Se propone una metodología para la evaluación de proveedores que parte del procedimiento multicriterio desarrollado por Ortiz (2004) para la selección y evaluación de los proveedores, el cual plantea la valoración cualitativa o cuantitativa de un conjunto de parámetros que varían en función de las características de la organización objeto de estudio y de la disponibilidad de la información estadística sobre el comportamiento del parámetro y de su naturaleza. A lo anterior se le añaden elementos de la teoría de los subconjuntos borrosos con vistas a obtener evaluaciones para entornos inciertos y complejos.

El procedimiento propuesto consta de cuatro etapas (Figura 1): selección de los expertos que participarán en las evaluaciones; de-

terminación de los parámetros que se van a tener en cuenta para evaluar; diseño y aplicación de encuestas a los expertos según los criterios seleccionados, y evaluación de los proveedores en función de los resultados obtenidos una vez procesadas las encuestas utilizando herramientas de los subconjuntos borrosos.

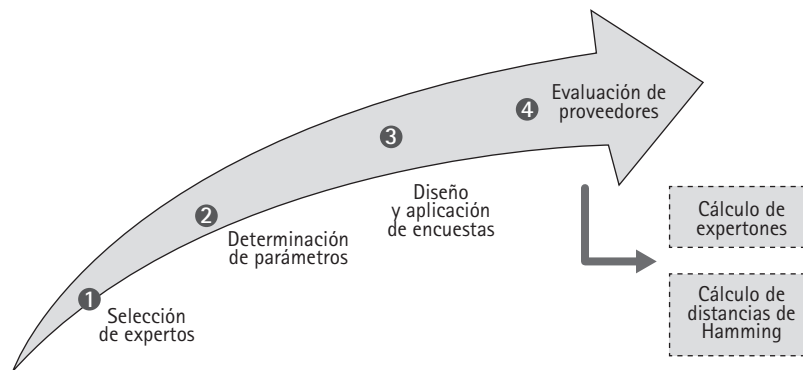
### Selección de expertos

Una correcta selección de los expertos es crucial, pues ellos comprometen la eficacia del proceso de evaluación. En este sentido, es importante determinar quiénes y cuántos se involucrarán en cada etapa del procedimiento propuesto.

Según diversos autores (Kaufmann y Aluja, 1992; Kaufmann y Aluja, 1993; Blanco, 2007 y García, 2010), la cantidad de expertos es indiferente; lo más importante en su selección es la cualidad y no la cantidad. Se trata de escoger aquellos que tengan mayores conocimientos teóricos y prácticos sobre el tema objeto de investigación.

El resultado final de este paso es un listado de las personas que actuarán como expertos

**Figura 1**  
Etapas para la evaluación de proveedores



Fuente: Elaboración propia.

en las etapas 2 y 3 del procedimiento antes mencionado. Resulta necesario destacar que no necesariamente son los mismos expertos los que participan en cada uno de los procesos, pues ello depende de lo que se pretenda evaluar en cada caso concreto.

### Determinación de los parámetros

La selección de los parámetros que se van a considerar durante la evaluación de proveedores, es un paso determinante ya que de ello depende el éxito de todo el proceso. Los parámetros estarán en correspondencia con las necesidades de la empresa, razón por la cual pueden variar de una empresa a otra.

Se recomienda utilizar los que plantea el procedimiento multicriterio desarrollado por Ortiz (2004), a los que se podrán agregar o suprimir todos aquellos que se deseen, siempre en dependencia de los intereses del consumidor final de la investigación.

### Diseño y aplicación de encuestas

Como plantea Blanco (2007), el trabajo con los expertos permite llevar a cabo la valuación de una variable sin descartar el grado de "vaguedad" que caracteriza al pensamiento humano. Por ello, a efectos de entender el procedimiento propuesto resulta necesario establecer la diferencia entre valuación y evaluación. Se entiende por la primera la asociación de un valor numérico positivo, negativo o nulo, a un objeto concreto o abstracto, efectuada por un experto. Sin embargo, se considera valuación la expresión de un nivel de verdad que toma sus valores en el intervalo de confianza  $[0,1]$ .

Si bien en el campo binario una valuación viene expresada por los números 0 o 1, en el campo multivalente o borroso esta valuación es un número entre 0 y 1, comprendidos ambos. Si se efectúan descomposiciones enteras

o equidistantes en  $[0,1]$ , se pueden utilizar diferentes escalas, como la binaria, la terciaria, la pentaria o la endecanaria. La preferencia de una escala multivalente ( $> 2$ ) sobre otra depende del objeto que se persiga con la investigación y no influye sobre el resultado final. Gil (1993) utiliza la escala endecanaria al hacer corresponder los niveles 0 y 1 a los extremos de un intervalo de confianza en R. Esta correspondencia es válida para cualquier tipo de escala que se emplee y permite utilizar el método de los expertones para la evaluación de los parámetros, tanto en el caso cualitativo como cuantitativo.

La expresión por parte de los expertos de su valuación en relación con los parámetros seleccionados en el paso anterior para cada uno de los proveedores objeto de estudio, así como asignar el nivel de importancia a cada criterio en correspondencia con las características de la entidad, es el objetivo principal al establecer las encuestas. Todo esto con el fin de arribar a una evaluación final de los proveedores.

En el diseño de las encuestas se ha tomado en consideración el empleo de las variables "comportamiento" e "importancia". Con la primera se pretende evaluar, precisamente, el comportamiento de cada uno de los parámetros seleccionados previamente en los proveedores objeto de estudio. Con la segunda se busca ponderar dichos criterios con el objetivo de establecer la importancia relativa de cada uno a la hora de evaluar a los proveedores objeto de estudio. Un aspecto que reviste vital importancia con vistas a que los resultados respondan a los requerimientos de la investigación, es dejar bien clara la correspondencia semántica de las variables, en correspondencia con la escala utilizada.

Esto conducirá a disponer de  $n$  intervalos de confianza para la variable "comportamiento"

respecto de cada parámetro en cada proveedor objeto de estudio:

$$[A_{l,p}^i, B_{l,p}^i]$$

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

$l = 1, 2, \dots, m$

$p = 1, 2, \dots, z$

Donde:

$i$ , número del experto y  $n$  total de estos.

$l$ , representa el parámetro y  $m$  el total de estos.

$p$ , representa el proveedor y  $z$  el total de estos.

De igual forma, se tendrán  $n$  intervalos de confianza para la variable "importancia" respecto a cada parámetro:

$$[A_l^i, B_l^i]$$

Esta posibilidad permite utilizar el método de los expertones para la evaluación de proveedores tanto si este es cualitativo como si es cuantitativo.

### Evaluación de los proveedores

Para llevar a cabo la evaluación del proveedor se deben calcular los expertones para las variables comportamiento e importancia. El expertón se obtiene con la estadística de las veces que los expertos han dado la misma valoración como extremo inferior y como extremo superior. Después se hallan las frecuencias normalizadas para cada extremo y finalmente se construye el expertón a través de la acumulación complementaria de los extremos (Kaufmann y Gil, 1986).

Así considerado, es posible hacer con el expertón las mismas operaciones que tienen

lugar con los intervalos de confianza repitiéndolas para cada nivel de la escala utilizada, teniendo en cuenta la necesaria monotonicidad horizontal y vertical. Finalmente, se obtiene la esperanza matemática del expertón<sup>3</sup> y se obtienen para cada parámetro en cada proveedor los expertones de comportamiento  $C_{l,p}$  y de importancia  $I_l$ .

La multiplicación de dos expertones ( $C_{l,p}$ ,  $I_l$ ) se hace nivel a nivel, multiplicando los valores situados en la misma posición en ambos expertones, agregando los valores a la izquierda y a la derecha (excepto el nivel cero) y dividiendo en dependencia de la escala utilizada.

De esta forma, se obtendrá para cada uno de los parámetros en cada proveedor objeto de estudio el expertón evaluación:

$$E_{l,p} = C_{l,p} \times I_l$$

La esperanza matemática de  $E_{l,p}$  será un intervalo de confianza  $[e_{1,l,p}, e_{2,l,p}]$  que permitirá evaluar cada uno de los proveedores objeto de investigación, de acuerdo con un enfoque multicriterio.

La jerarquización de los parámetros y los proveedores se obtiene a través del cálculo de las distancias de Haming, tomando como referente la esperanza matemática de un proveedor denominado proveedor ideal.

El proveedor ideal se determina sobre la base de otorgar el máximo de puntuación a cada parámetro, expresado en el expertón  $M_l$  con lo que asumirá el valor [1,1]. Luego este expertón  $M_l$  se multiplica por los expertones importancia  $I_l$  para cada parámetro, según la valoración dada por los expertos y se obtienen los expertones para cada parámetro

3. Siempre que se trabaje con operadores matemáticos lineales, habrá coincidencia entre la media de las observaciones y la esperanza matemática del expertón.

del proveedor ideal denominado  $Q_i$ . A continuación, se calcula esperanza matemática de  $Q_i$ , expresada finalmente en el intervalo de confianza  $[o_{1,i}, o_{2,i}]$ .

Por último, para obtener la distancia entre las esperanzas matemáticas de los expertos  $E_{i,p}$  y  $Q_i$  se hallará la distancia de Hamming, la cual queda definida por la siguiente expresión:

$$d^{e,o} = \frac{|e_1 - o_1| + |e_2 - o_2|}{2}$$

Los parámetros en cada uno de los proveedores y los proveedores en cada parámetro, se ordenan de menor a mayor en función de sus distancias, de tal forma que cuanto más cercanos estén al "proveedor ideal", mejor será su evaluación.

La evaluación final del proveedor se determina por el investigador de conjunto con el grupo de expertos, quienes mediante trabajo en equipo conforman los intervalos de comparación que permiten calificar si el proveedor responde a los requerimientos de la entidad.

Para ello se establecen tres categorías para la evaluación: proveedor ideal, proveedor conveniente y proveedor aceptable, quedando así establecidos los intervalos para una escala pentaria de la siguiente manera:

Proveedor ideal: [1,1]

Proveedor conveniente: [0.75, 1]

Proveedor aceptable: [0.5, 0.75]

Una vez establecidos los intervalos para cada categoría en función de las distancias de Hamming de cada uno de los proveedores evaluados con respecto al proveedor ideal, se determinarán los intervalos que permitirán clasificar finalmente si un proveedor resulta

conveniente, aceptable o inapropiado para la organización.

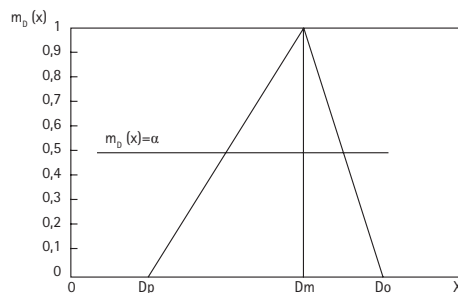
El procedimiento permite hacer estos análisis de forma general, pues a partir de la sumatoria de los resultados de cada parámetro por proveedor, se obtienen evaluaciones globales de los proveedores, que igualmente pueden jerarquizarse y calificarse.

Se propone una metodología para la gestión de inventarios que parte del procedimiento gestión de inventarios con demanda independiente en empresas comerciales y de servicios (Gisercom) desarrollado por Ortiz (2004). Se plantean modelos matemáticos que permiten representar el comportamiento de los regímenes de inventario aplicando la lógica de la borrosidad, para así determinar la política por seguir en términos de cuánto pedir y cada cuánto tiempo, de manera que se logre el manejo del sistema con un costo total económico. De ahí su importancia práctica para la toma de decisiones en las empresas.

Partiendo de lo planteado para los modelos deterministas de gestión de inventarios y levantando el supuesto que indica que la demanda de un producto para un horizonte temporal de planificación es conocida y su tasa contante y continua, se propone el tratamiento del parámetro demanda "en condiciones de incertidumbre".

Se plantea en primer lugar, la formación de un número borroso triangular que definirá los rangos en los cuales se puede mover la demanda para los diferentes niveles de presunción. Su límite inferior equivaldrá al valor del escenario pesimista ( $D_p$ ), el límite superior coincidirá con el escenario optimista ( $D_o$ ) y el valor central será el del escenario más probable ( $D_m$ ) (Figura 2).

**Figura 2**  
 Número difuso triangular  $D^\alpha = [D_p^\alpha, D_m^\alpha, D_o^\alpha]$



Fuente: elaboración propia.

Se puede definir dicho número triangular en forma de intervalo de confianza para su posterior utilización, en función del modelo matemático seleccionado, como sigue:

$$D^\alpha = [D_p^\alpha, D_o^\alpha] = [D_p + (D_m - D_p)\alpha, D_o - (D_o - D_m)\alpha]$$

Según las características de la entidad seleccionada para su validación, el modelo por aplicar será el modelo de intervalo económico de reorden o modelo EOI en condiciones de incertidumbre, cuyos elementos se calcularán como se indica a continuación:

Intervalo económico de reorden (T):

$$T_x = \left[ \left( \sqrt{2 * \frac{Co}{Ch_x} * \frac{1}{D_{x_o}^\alpha}} \right), \left( \sqrt{2 * \frac{Co}{Ch_x} * \frac{1}{D_{x_p}^\alpha}} \right) \right]$$

Nivel máximo hasta el que se ordena (M):

$$M_x = [D_{x_p}^\alpha * (L + T_{x_p}^\alpha), D_{x_o}^\alpha * (L + T_{x_o}^\alpha)]$$

Costo total de inventario (CT):

$$CT_x = \left[ \frac{Co}{T_{x_o}^\alpha} + \left( \frac{Ch_x}{2} * T_{x_p}^\alpha * D_{x_p}^\alpha \right), \frac{Co}{T_{x_p}^\alpha} + \left( \frac{Ch_x}{2} * T_{x_o}^\alpha * D_{x_o}^\alpha \right) \right]$$

Dicho modelo plantea la revisión del inventario cada vez que transcurre un periodo fijo  $T$ , momento en el cual se emite un pedido  $Q$  igual a la diferencia entre una cantidad máxima denotada por  $M$  y la cantidad de

producto que se tiene en el inventario  $R$ , para obtener un costo total de inventario (CT) económicamente razonable. Dicho punto de reorden  $R$  se calculará como sigue:

$$R_x = [L * D_{x_p}^\alpha, L * D_{x_o}^\alpha],$$

donde  $L$  es el tiempo de entrega de los suministradores.

## Resultados

Para llevar a cabo el estudio de campo se escogió una empresa comercial y dentro de ella el grupo de proveedores, los cuales resultaron los de mayor peso en cuanto a volumen de compras durante el año de la investigación. Se seleccionaron mediante la aplicación del método ABC y resultaron clasificados dentro del grupo A un total de nueve proveedores, identificados con las siglas siguientes: BTT, ZKE, BSN, HIG, SIT, GTE, FEI, LTD y SIL.

Los proveedores mencionados con anterioridad fueron sujetos al proceso de evaluación según el procedimiento propuesto. Los resultados se muestran a continuación.

### Etapa 1. Selección de los expertos

Se trabajó con dos grupos de expertos: el primero participó en la valuación de los parámetros en cada uno de los proveedores seleccionados y el segundo dio sus valuaciones acerca de la importancia de los parámetros. La división fue establecida tomando en consideración el nivel de conocimiento de los expertos.

### Etapa 2. Determinación de parámetros

Los parámetros seleccionados, en correspondencia con las características de la empresa estudiada y el criterio de los especialistas y la alta dirección de la empresa fueron:

- Precio (Pr).
- Calidad (C).
- Flexibilidad (F).
- Documentación (D).

- Faltantes en la Entrega (FE).
- Cumplimiento en los tiempos de entrega (CTE).
- Estabilidad en el suministro (ES).

### Etapa 3. Diseño y aplicación de encuestas

Para medir las variables comportamiento e importancia se empleó la escala pentaria, la cual fue escogida de forma consensuada entre todos los implicados. Las correspondencias semánticas de las variables comportamiento e importancia se observan en la Tabla 1:

**Tabla 1**  
Correspondencia semántica de las variables importancia y comportamiento

	Variable importancia		Variable comportamiento
0	Insignificante	0	Desfavorable
1	Más insignificante que importante	1	Más desfavorable que favorable
2	Ni insignificante, ni importante	2	Ni desfavorable, ni favorable
3	Más importante que insignificante	3	Más favorable que desfavorable
4	Importante	4	Favorable

Fuente: Elaboración propia.

### Etapa 4. Evaluación de los proveedores<sup>4</sup>

Primeramente se procesó toda la información obtenida en una hoja de cálculo Excel y se llevaron a la escala [0,1] las observaciones de los expertos, tal como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2**  
Escala transformada

Escala pentaria	
0	0
1	0,25
2	0,5
3	0,75
4	1

Fuente: Elaboración propia.

Los expertones  $C_{ij}$  de la variable comportamiento así como los expertones  $I_{ij}$  de la variable importancia y la esperanza matemática  $E_{ij}$  resultante de la multiplicación de los expertones para cada criterio para un proveedor seleccionado, se muestran a continuación en la Tabla 3:

**Tabla 3**  
Expertones de las variables comportamiento e importancia en el proveedor seleccionado

Criterio	Comportamiento		Importancia		Esperanza matemática	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Pr	0,75	1,00	0,68	0,86	0,61	0,86
C	0,75	1,00	0,89	1,00	0,71	1,00
F	0,83	1,00	0,43	0,68	0,43	0,68
D	0,75	0,92	0,79	0,96	0,71	0,89
FE	0,75	0,92	0,89	1,00	0,71	0,92
CTE	0,83	1,00	0,93	1,00	0,81	1,00
ES	0,92	1,00	0,79	0,96	0,76	0,96

Fuente: Elaboración propia.

4. Por razones de confidencialidad no se mostraron los nombres de los proveedores evaluados.



Siguiendo un proceso similar al anterior se hallaron los expertos del proveedor ideal  $M_i$ . Posteriormente, se halló la distancia de Hamming (D.H.). Ambos resultados se muestran en la Tabla 4.

Estas distancias se ordenan descendientemente obteniéndose así la jerarquización de los criterios analizados (Gráfico 1).

Al analizar los casos extremos, en el proveedor seleccionado la flexibilidad es óptima, pues su distancia de Hamming es de cero. El criterio más deficiente es faltantes en la entrega al ser el de mayor distancia.

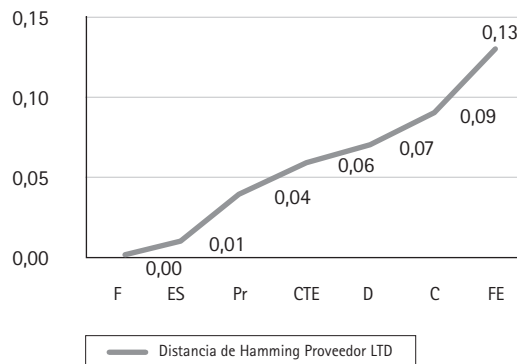
Otro análisis fue la jerarquización del comportamiento general de los criterios en la cartera de proveedores estudiada, tal como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 4**  
 Esperanza matemática del proveedor ideal y distancia de Hamming por criterio para el proveedor seleccionado

Criterio	Esperanza matemática proveedor ideal		Esperanza matemática proveedor seleccionado		D.H
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Pr	0,68	0,86	0,61	0,86	0,04
C	0,89	1,00	0,71	1,00	0,09
F	0,43	0,68	0,43	0,68	0,00
D	0,79	0,96	0,71	0,89	0,07
FE	0,89	1,00	0,71	0,92	0,13
CTE	0,93	1,00	0,81	1,00	0,06
ES	0,79	0,96	0,76	0,96	0,01

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 1**  
 Jerarquización de los criterios en el proveedor seleccionado



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5**  
Jerarquización de los criterios de forma general

Criterio	D.H
F	0,18
ES	0,32
D	0,74
Pr	1,14
FE	1,28
C	1,32
CTE	1,55

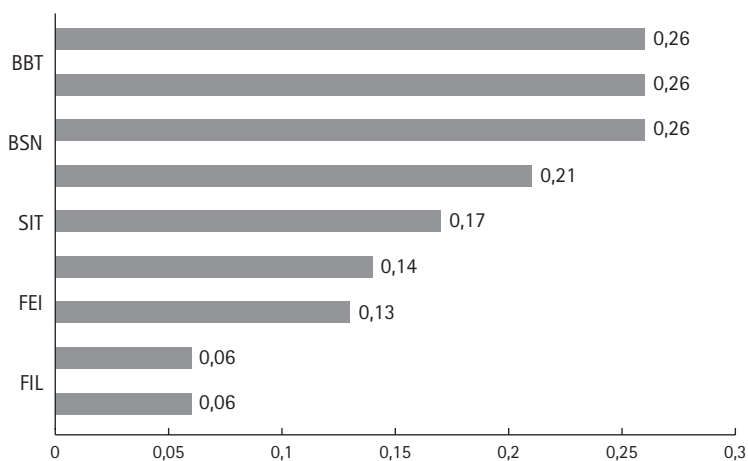
Fuente: Elaboración propia.

Se pudo comprobar que el criterio que mejor desempeño presenta en la cartera de proveedores es flexibilidad (F). También es evidente la considerable distancia que separa los criterios de los extremos. En este sentido, cabe destacar que los criterios a los que se

les otorgó mayor ponderación por parte de los expertos obtuvieron los peores resultados: cumplimiento en los tiempos de entrega (CTE), junto a calidad (C) y faltantes en la entrega (FE). En el Gráfico 2 se muestra la jerarquización de los proveedores para el criterio CTE.

Con el objetivo de calificar los criterios en cada proveedor, se conformaron intervalos de evaluación a partir de calcular un proveedor conveniente y uno aceptable. Estos cálculos fueron similares a los establecidos en la búsqueda del proveedor ideal, pues el proveedor conveniente se halló a partir de darle una puntuación en cada criterio de [0.75, 1] y así mismo con el proveedor aceptable, al darle una puntuación dentro del rango [0.5, 0.75]. En la Tabla 6 se presentan las esperanzas matemáticas de un proveedor "conveniente" y de un proveedor "aceptable", expresadas mediante intervalos de confianza.

**Gráfico 2**  
Jerarquización de los proveedores analizados en el criterio cumplimiento en los tiempos de entrega (CTE)



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6**  
Esperanzas matemáticas por criterios de un proveedor conveniente y uno aceptable

Criterio	Conveniente		Aceptable	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Pr	0,61	0,86	0,43	0,68
C	0,71	1,00	0,50	0,75
F	0,43	0,68	0,36	0,57
D	0,71	0,96	0,50	0,75
FE	0,75	1,00	0,50	0,75
CTE	0,75	1,00	0,50	0,75
ES	0,71	0,96	0,50	0,75

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se presentan los rangos de clasificación por criterios.

**Tabla 7**  
Rangos de clasificación por criterios para los proveedores (P)

Criterio	Conveniente	Aceptable	Inapropiado
Pr	$P \leq 0,04$	$0,04 < P \leq 0,21$	$P > 0,21$
C	$P \leq 0,09$	$0,09 < P \leq 0,32$	$P > 0,32$
F	$P = 0,00$	$0,00 < P \leq 0,09$	$P > 0,09$
D	$P \leq 0,04$	$0,04 < P \leq 0,25$	$P > 0,25$
FE	$P \leq 0,07$	$0,07 < P \leq 0,32$	$P > 0,32$
CTE	$P \leq 0,09$	$0,09 < P \leq 0,34$	$P > 0,34$
ES	$P \leq 0,04$	$0,04 < P \leq 0,25$	$P > 0,25$

Fuente: Elaboración propia,

Se desarrolló, consecuentemente, un análisis por criterio de cada proveedor, como se muestra en la Tabla 8.

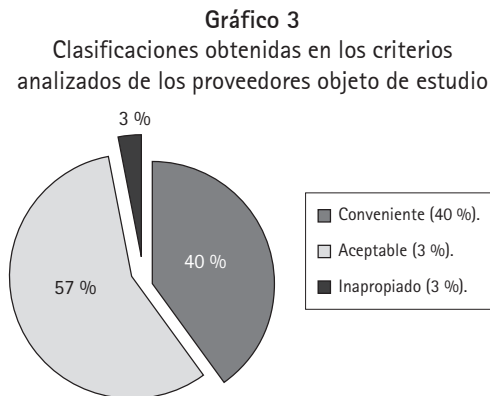
**Tabla 8**  
Parte del diagnóstico por criterio efectuado a los proveedores (proveedor seleccionado)

Criterio	LTD	Conveniente	Aceptable	Inapropiado
Pr	0,04	$P \leq 0,04$	$0,04 < P \leq 0,21$	$P > 0,21$
C	0,09	$P \leq 0,09$	$0,09 < P \leq 0,32$	$P > 0,32$
F	0,00	$P = 0,00$	$0,00 < P \leq 0,09$	$P > 0,09$
D	0,07	$P \leq 0,04$	$0,04 < P \leq 0,25$	$P > 0,25$
FE	0,13	$P \leq 0,07$	$0,07 < P \leq 0,32$	$P > 0,32$
CTE	0,06	$P \leq 0,09$	$0,09 < P \leq 0,34$	$P > 0,34$
ES	0,01	$P \leq 0,04$	$0,04 < P \leq 0,25$	$P > 0,25$

Fuente: Elaboración propia.

En el caso particular del proveedor seleccionado, se puede constatar que los criterios documentación (D) y faltantes en la entrega (FE) caen en la clasificación aceptable. El último criterio es el peor evaluado. No obstante, el resto de los parámetros resultaron convenientes, razón por la cual la entidad debe alertar al proveedor para que lleve a cabo acciones que conduzcan a superar las deficiencias reveladas y alcanzar así una mejor calificación.

Si se tienen en cuenta las evaluaciones de los criterios, un total de veinte proveedores fueron clasificados como convenientes, treinta y seis como aceptables y dos como inapropiados. Estos resultados se resumen en el Gráfico 3.



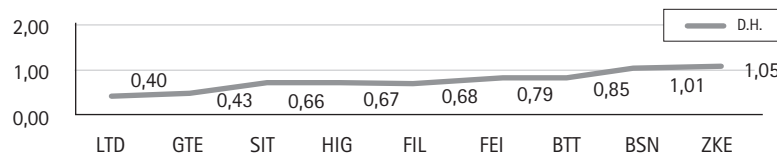
Fuente: Elaboración propia.

Aproximadamente el 60 % de los criterios fueron evaluados aceptables, lo que implica que, en su conjunto, los proveedores no son óptimos en su desempeño. Una vez finalizado el análisis parcelado de los proveedores a partir de los criterios definidos y revelados los problemas al respecto, se complementó el estudio haciendo un análisis general de cada proveedor, en aras de establecer un diagnóstico final. Para ello se estableció la sumatoria de los resultados obtenidos anteriormente en cada criterio, de la siguiente manera. Primero se totalizaron los cálculos desarrollados para la jerarquización de los criterios (esperanza matemática de los expertos  $E_{i,p}$  totales para cada proveedor), luego se calculó la distancia de Hamming (D,H) para cada proveedor con base en que el proveedor ideal obtuvo una valuación de [5.39,6.46] y finalmente se prosiguió a su jerarquización (Gráfico 4).

A modo de resumen, se puede plantear que el criterio mejor evaluado de forma general es flexibilidad (F) y se obtuvo, incluso, la evaluación máxima en cuatro proveedores. Estos resultados podrían indicar la preferencia de la empresa de trabajar con proveedores que se adapten con facilidad a las circunstancias que surjan repentinamente.

Opuestamente, el criterio que presenta mayores dificultades es cumplimiento en los

**Gráfico 4**  
Jerarquización de los proveedores



Fuente: elaboración propia.

tiempos de entrega (CTE). Esto constituye un aspecto por examinar cuidadosamente por la entidad, pues este criterio obtuvo mayor ponderación en cuanto a su nivel de importancia en la evaluación de proveedores y es, precisamente, el que más problemas presenta en los suministradores analizados.

Para determinar la política de inventario, se aplicó el modelo EOI con demanda en condiciones de incertidumbre. La determinación de la demanda para los tres escenarios explicados al inicio, a saber, pesimista, optimista y medio, es el primer paso, tal como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9**  
Intervalos de demanda para los diferentes productos

Productos	Intervalos de demanda	
	$D_{x_p}^\alpha$	$D_{x_o}^\alpha$
Jabón de tocador 125 g. M Four Seasons	79719	89683,88
Agua de rosas 300 ml. M Bonabel	1756	1975,5
Desodorante <i>Roll On heno</i> 85 g. M Sport	16851	18957,38
Agua de violetas 300 ml. M Boni	2469	2777,63
Agua de violetas 300 ml. M Bonabel	3066	3449,25
Pasta dental acción anticaries menta 100 ml. M Natural Dent	4253	4784,63
Desodorante <i>Roll On Kafé</i> 85 g. M Sport	21226	23879,25
Acondicionador 300 ml. M Bonabel	1479	1663,88
Crema de almendras. Crema de aceite de oliva 300 ml. M Bonabel	2679	3013,88
Jabón de tocador noche de miel 90 g. M Lux Suave	21226	23879,25
Jabón de tocador aceite aromático 125 g. M Kinder	30083	33843,38
Rexona <i>Roll On Active</i> 55 g.	1876	2110,5
Rexona <i>Roll On Extreme</i> 55 g.	1575	1771,88
Rexona <i>Roll On Cotton</i> 55 g.	2188	2461,5
Jabón infantil 120 g. M Floresta	4469,6	5028,3
Agua de tocador Un toque P/H 85 ml.	874	983,25

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de hacer comparables los datos con los de investigaciones precedentes en la entidad objeto de estudio y determinar su veracidad, se procedió a trabajar con un T fijo

equivalente a 0,083 de año. Con ese resultado se procedió al cálculo de M y CT, cuyos valores se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10  
Intervalos de costos totales e inventario máximo con T anuales fijos

Productos	Costos totales		Inventario máximo	
	$CT_{x_p}^\alpha$	$CT_{x_o}^\alpha$	$M_{x_p}^\alpha$	$M_{x_o}^\alpha$
Jabón de tocador 125 g. <i>M Four Seasons</i>	566,622	587,299	8144,625	9162,703
Agua de Rosas 300 ml. M Bonabel	417,966	420,061	179,405	201,830
Desodorante <i>Roll OnHeno</i> 85 g. M Sport	457,150	464,143	1721,611	1936,812
Agua de violetas 300 ml. M Boni	420,673	423,106	252,250	283,781
Agua de violetas 300 ml. M Bonabel	430,470	434,128	313,243	352,398
Pasta dental acción anticaries menta 100 ml. M Natural Dent	417,090	419,075	434,515	488,830
Desodorante <i>Roll On Kafé</i> 85 g. M Sport	471,675	480,484	2168,590	2439,663
Acondicionador 300 ml. M Bonabel	406,115	406,729	151,105	169,993
Crema de almendras c/aceite de Oliva 300 ml. M Bonabel	413,434	414,963	273,705	307,918
Jabón de tocador noche de miel 90 g. M Lux Suave	454,058	460,664	2168,590	2439,663
Jabón de tocador aceite aromático 125 g. M Kinder	488,596	499,520	3073,480	3457,665
Rexona <i>Roll On Active</i> 55 g.	409,769	410,839	191,665	215,623
Rexona <i>Roll On Extreme</i> 55 g.	408,395	409,293	160,913	181,027
Rexona <i>Roll On Cotton</i> 55 g.	411,193	412,442	223,541	251,483
Jabón Infantil 120 g. M Floresta	412,334	413,725	456,644	513,725
Agua de tocador Un toque P/H 85 ml.	411,723	413,038	89,294	100,455

Fuente: Elaboración propia.

Los costos totales de inventario mostrados tienen incorporado el factor riesgo, pues fueron calculados teniendo en cuenta la incertidumbre de la demanda, razón por la cual no es necesario añadirles el costo de un inventario de seguridad adicional. De ahí que para compararlos con los costos brindados por la investigación anterior, resulta indispensable determinar el costo de los inventarios corrientes, que sería el valor indicado para comprobar si pertenecen o no a los intervalos propuestos para cada producto en las diferentes entidades.

Los desembolsos por concepto de inventario corriente (CS) se determinan sustrayéndole al costo total anual de inventario (CT), el valor del costo total anual de inventario de seguridad (CB). Una vez hecha la sustracción se ubicó cada resultado en el intervalo que le corresponde en función del artículo al que se haga referencia y se observó que en ningún caso el valor del costo total se encuentra fuera de los límites del intervalo.

A la hora de analizar el nivel máximo hasta el que se ordena (M), ocurre algo similar a lo explicado anteriormente con los costos: es preciso determinar el inventario corriente, pues la M calculada en la investigación precedente tiene incorporada la necesidad de mantener ciertos niveles de *stock* de seguridad. El resultado fue igualmente positivo; es decir, los valores de M pertenecen a los intervalos propuestos.

Las conclusiones a las que se llegó en el estudio del período de reaprovisionamiento, de los costos totales de inventario y del nivel máximo hasta el que se ordena –es decir, la validez de los intervalos propuestos–, evidencian la veracidad y aplicabilidad del modelo EOI con demanda en las condiciones de incertidumbre propuestas.

La decisión que se va a tomar por la gerencia de la empresa objeto de estudio de la presente investigación en cuanto al tiempo entre revisiones, la cantidad por pedir, el nivel máximo de existencias y los costos totales de inventario en los que incurrirán, dependerá no solo de la cuantía de los desembolsos monetarios, sino también de otros elementos como las restricciones de capacidad de almacenamiento que presente la entidad y la política, en términos de revisión, establecida previamente con los proveedores.

Como es de apreciar, los modelos propuestos presentan una forma razonable y aplicable tanto a entidades comerciales y de servicios como a empresas productivas, permitiendo con ello trazar una política de inventario económica en términos de costos y con demanda en condiciones de incertidumbre. De esta manera, se logra simplificar la cantidad de información y de tiempo necesarios a la hora de trabajar con los modelos probabilistas, los cuales requieren series de tiempo que les permitan hacer pronósticos con alto grado de certeza y de información confiable referida a las desviaciones estándar, para así consolidar inventarios de seguridad que respondan a las necesidades de la empresa y no incurrir en altos costos por este concepto.

## Conclusiones

Con el presente artículo, se ha pretendido presentar algunos resultados de investigaciones llevadas a cabo en Cuba respecto de la evaluación de proveedores y la gestión de inventarios, con herramientas de la teoría de los subconjuntos borrosos aplicados a la realidad de la empresa cubana actual, con el fin de contribuir a una mayor eficiencia en términos de costos y calidad e incrementar su poder de compra, todo esto en un escenario convulso e incierto.

Bajo estas circunstancias, resulta indispensable la aplicación de la teoría de los subconjuntos borrosos a los problemas de gestión económica, razón por la cual el empleo de estas técnicas se acrecienta y extiende a todas las áreas empresariales debido a que los enfoques tradicionales no se ajustan a una realidad abarrotada de imprecisión, incertidumbre y verdades parciales.

## Bibliografía

- BLANCO, B. (2007). *Procedimiento para la evaluación de los riesgos empresariales de operación con métodos de las matemáticas borrosas*. Tesis doctoral, Universidad de La Habana, Cuba.
- GARCÍA, I. (2010). *Procedimiento para la selección de los mercados internacionales de los servicios de gestión medioambiental cubanos*. Tesis doctoral, Universidad de La Habana, Cuba.
- KAUFMANN, A. y ALUJA, G. (1992). *Técnicas de gestión de empresa. Previsiones, decisiones y estrategias*. Pirámide.
- KAUFMANN, A. y ALUJA, G. (1993). *Técnicas especiales para la gestión de expertos*. Milladoiro.
- ORTIZ, M. (2004). *Procedimiento para la gestión de inventarios con demanda independiente en empresas comerciales y de servicios*. Tesis doctoral, Universidad de La Habana, Cuba.
- ORTIZ, M.; ORAMAS, O. (2014). *La gestión de inventarios en condiciones de incertidumbre*. Tesis presentada en opción al título de Licenciado en Economía, Universidad de La Habana, Cuba.
- ORTIZ, M.; ORAMAS, O.; SANZ, M. (2015). *Procedimiento de evaluación de proveedores con herramientas de la teoría de los subconjuntos borrosos. Aplicación a proveedores seleccionados de una empresa comercial*. Universidad de La Habana, Cuba.