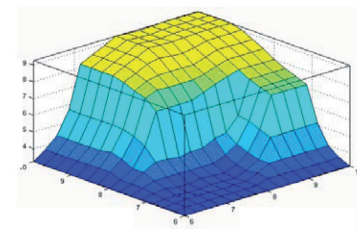


Cómo mejorar la evaluación de proveedores mediante sistemas de inferencia borrosos



HOW TO IMPROVE THE SUPPLIERS EVALUATION PROCESS USING FUZZY INFERENCE SYSTEMS

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/6992> | Recibido: 28/10/2013 • Aceptado: 03/02/2014



Nazario García, Javier Puente, Isabel Fernández,
Alberto Gómez

Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón.
Dpto. Administración de Empresas. Campus de Gijón, s/n -
33203 Gijón (Asturias). Tfno: +34 985 181996.
jpuente@uniovi.es

ABSTRACT

• Traditional supplier evaluation models are usually highly dependent on the purchasing managers' know-how and their subjective judgments. Recent years have witnessed the proposal of many models to assist in this type of evaluation some of which are not eligible for small and medium enterprises (SMEs), due to their complexity and difficulty of implementation. Some others, despite its simplicity, often provide performance problems.

The goal of this paper is twofold. It seeks to design a supplier evaluation model to be both, robust enough about their valuation method and easy to implement and use.

Among the different existing valuation methods, a fuzzy inference system proves its suitability not only because it achieves the goals of the paper, but also because it demonstrates to be more efficient than other traditional assessment methods -such as weighting factors-, and it is widely accepted in SMEs according to the results of an empirical validation study.

• **Keywords:** Supplier evaluation, Supplier Certification, Fuzzy inference Systems, Purchasing model.

RESUMEN

Habitualmente, los modelos tradicionales de evaluación de proveedores están sujetos al saber hacer y a los juicios subjetivos de los responsables de compras en la empresa. En los últimos años se han propuesto multitud de modelos para ayudar en esta evaluación. Muchos de ellos, por su complejidad y dificultad de aplicación, no son útiles a las pequeñas y medianas empresas. Otros, pese a ofrecer gran sencillez de uso, suelen ofrecer inconvenientes operativos.

El objetivo de este trabajo es doble: se busca diseñar un modelo de evaluación de proveedores que sea suficientemente robusto en su método de valoración a la vez que fácil de implementar y utilizar en las pymes.

De los diferentes métodos de valoración existentes, se demuestra la idoneidad de utilizar un sistema de inferencia borroso, que además de lograr el doble objetivo del trabajo, supera en eficiencia a otros métodos tradicionales de valoración -como los de ponderación de factores- y es ampliamente aceptado en la pyme conforme a un estudio de validación empírico.

Palabras clave: Evaluación de proveedores, Certificación de proveedores, Sistemas de inferencia borrosos, Modelos de compra.

1. INTRODUCCIÓN

A medida que las empresas han ido conformando cadenas de suministro para enfrentarse a la competencia del mercado, la evaluación y selección de adecuados proveedores se ha convertido en un factor clave para el logro de su éxito [1], [2], además de ser un requisito indispensable para la certificación de las empresas según diferentes normativas (p.ej. ISO9001 [3] e ISO/TS 16949 [4]).

Sin embargo, la puesta en práctica de dichos procesos, se enfrenta a diferentes dificultades. En primer lugar, la de encontrar métodos de evaluación robustos y efectivos que simultáneamente sean sencillos de aplicar en las pequeñas y medianas empresas (pymes). Por otra parte, a la falta de consenso respecto a la terminología empleada para referirse a la “evaluación” y “selección” de proveedores o a la definición y cuantificación de las variables implicadas en tales procesos. También se ha identificado la dificultad de evaluación simultánea de proveedores nuevos e históricos y la de gestionar adecuadamente la imprecisión inherente a la medición de algunos de los factores determinantes en la evaluación. Por último, la naturaleza de las decisiones a tomar con respecto a la valoración y selección de proveedores es compleja, deficientemente estructurada [5] y la estimación de sus factores subyacentes está

habitualmente afectada de elevadas dosis de incertidumbre y subjetividad [6]. Todas estas dificultades configuran el vacío a cubrir por este trabajo de investigación.

Por ello, este estudio plantea dos objetivos principales. De una parte, proponer un modelo de evaluación de proveedores que permita superar todos los inconvenientes apuntados y que sirva de apoyo metodológico para cubrir potenciales requisitos normativos de evaluación (p.ej. ISO 9001). De otra parte, para que el modelo sea robusto y a la vez de sencilla aplicación práctica en las pymes, analizar la idoneidad de utilizar un sistema de inferencia borroso (SIF) como método de valoración del modelo, frente a otros métodos tradicionales como los de ponderación de factores.

El artículo se estructura en cinco apartados. Tras esta introducción, en el apartado 2 se realiza un análisis de la literatura más reciente respecto a las variables y métodos más frecuentemente empleados en la evaluación y selección de proveedores. En el apartado 3 se define el modelo identificando sus variables constituyentes. El apartado 4 describe dos métodos alternativos de valoración: uno de ponderación de factores y otro basado en un SIF, mostrando los resultados obtenidos en ambos casos mediante ejemplificaciones y validando empíricamente la efectividad obtenida con el SIF. Por último se exponen las conclusiones del estudio.

2. REVISION DE LA LITERATURA

La estructura de los procesos de compra adoptados en este trabajo, parte de la propuesta de Dickson [7], quien propugnaba dos fases diferenciadas para la evaluación y selección de proveedores. La primera fase (evaluación a priori), para proveedores nuevos, determina su capacidad para satisfacer los requisitos de compra impuestos por la empresa compradora. El resultado de esta evaluación determinará, en caso favorable, la decisión de homologar al proveedor y su inclusión en la lista de proveedores homologados con los que poder mantener futuras relaciones comerciales. En la segunda fase (evaluación a posteriori), para proveedores históricos, se complementa la valoración previa, con la extraída de su comportamiento en las compras efectuadas a la empresa en el pasado.

La propuesta de un modelo para la evaluación de proveedores debe tener en consideración un conjunto de variables probadamente influyentes en su valoración de naturaleza tanto cuantitativa como cualitativa [8]. Tras un exhaustivo análisis de la literatura más relevante y reciente respecto a diferentes modelos propuestos sobre el tema [9], [10], [11], [12], se ha constatado que las variables más frecuentemente citadas con propósito evaluador son: La tenencia de un sistema de calidad certificado, el comportamiento de las entregas, el buen servicio y la flexibilidad en la respuesta del proveedor, así como diferentes factores de carácter estructural del proveedor (p.ej. capacidad de fabricación, gestión, tecnología e I+D+i). Por su parte, el precio de las ofertas sólo suele tenerse en cuenta con propósitos de selección ante un proceso de compra.

Respecto a las metodologías empleadas, se han propuesto múltiples enfoques de toma de decisión multicriterio para la evaluación y selección de proveedores. De acuerdo con la revisión de la literatura más reciente sobre el tema [12], los mé-

todos usados con mayor intensidad han sido: el *análisis envolvente de datos (DEA)* seguido de métodos de *programación matemática por objetivos (GP)*, el *procedimiento analítico jerárquico (AHP)*, el *razonamiento basado en casos (CBR)*, el *proceso de red analítico (ANP)*, la *teoría de conjuntos borrosos*, las *técnicas de rating multiatributo simples (SMART)* y los *algoritmos evolutivos (GA)*. Y todos ellos, utilizados tanto de manera individual como de forma híbrida (consultar [12] para una descripción más detallada).

En todo caso, en la literatura consultada, no existe método entre los enunciados exento de crítica. Por ejemplo, en el método DEA, suele criticarse la dificultad de distinguir nítidamente entre los factores que deben considerarse criterios de entrada frente a los de salida o bien problemas de inconsistencia asociados a las valoraciones de criterios de tipo cualitativo. Por su parte, en el método híbrido AHP-GP suelen argumentarse problemas de tiempo de convergencia de los algoritmos para alcanzar estabilidad o consenso.

Teniendo en cuenta las consideraciones previas, el modelo que se propone en este trabajo considera las variables ya frecuentemente probadas como determinantes para la evaluación de proveedores [12] y propone un *sistema de inferencia borroso* como metodología eficiente para su valoración. Esta propuesta se fundamenta en varias razones. Por una parte, los SIF son muy intuitivos en cuanto a su conceptualización y el conocimiento embebido en ellos es fácilmente interpretable (al ser representado mediante reglas que manejan etiquetas lingüísticas), lo que permite acercar su uso a las pymes frente a métodos más complejos propuestos en la literatura reciente. Por otra parte, los SIF permiten gestionar con facilidad la incertidumbre inherente a la evaluación de algunas variables del modelo, como ya ha sido probado en otros entornos diferentes donde los dominios de las variables también podían definirse de modo lingüístico [13], [14]. Además, el método propuesto permite realizar conjuntamente la valoración de proveedores históricos y nuevos –no encontrándose precedentes de este hecho en la literatura reciente–.

Aunque existen investigaciones previas que también utilizan reglas lingüísticas borrosas para la evaluación de proveedores [15], habitualmente utilizan métodos evolutivos para generar las bases de conocimiento, lo que supone un hándicap de aplicación en las pymes que, en general, prefieren usar métodos más intuitivos y de más fácil implementación.

3. MODELO PROPUESTO PARA LA EVALUACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PROVEEDORES

Basándose en las variables más frecuentemente empleadas en los modelos de evaluación de proveedores, se ha decidido diseñar el modelo expuesto en la Figura 1. Este modelo será capaz de evaluar de modo conjunto a proveedores nuevos e históricos y permitirá eludir la subjetividad inherente a los procesos de evaluación, minimizando el “efecto de halo” [16], [17] tan característico de los mismos.

Para garantizar la funcionalidad del modelo se ha decidido que cada variable dependiente sea función, como máximo, de tres factores de entrada. Así, se ha procedido a definir los parámetros constitutivos de medición de cada factor implicado

así como su fuente de datos de manera que su determinación sea fácilmente obtenida.

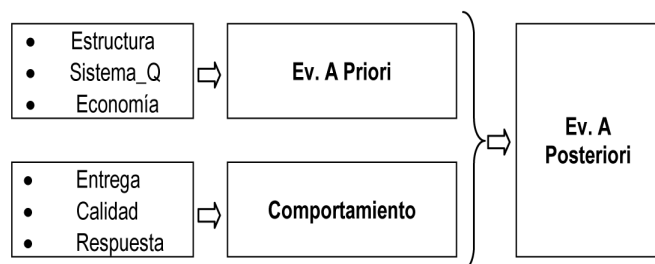


Fig. 1: Modelo Propuesto para la evaluación de proveedores

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIABLES IMPLICADAS EN LA EVALUACIÓN "A PRIORI"

La variable [Estructura] mide el ratio de respuestas afirmativas respecto al total de preguntas incluidas en un cuestionario diseñado para chequear aspectos organizativos del proveedor a evaluar tales como: tamaño/volumen empresarial, aspectos de reputación y conocimiento de marca, número y representatividad de certificaciones de calidad alcanzadas y aspectos de *Know-how*. Análogamente, la variable [Sistema_Q] representa un ratio similar al anterior basado en una encuesta relativa a la adaptación del proveedor a los requerimientos de la norma UNE-EN-ISO9001 respecto a criterios de planificación, control y mejora de sus procesos operativos de funcionamiento. La variable [Economía] mide la proporción de cumplimiento de ratios financieros del proveedor por encima del primer cuartil de 28 ratios económico-financieros estándar del sector al que pertenece el mismo (este ratio puede determinarse con relativa facilidad a partir de los balances económico-contables de la empresa a evaluar, dado que dichos documentos son de carácter público y pueden ser suministrados por el proveedor a evaluar). El rango de valoración para estas tres variables es [0–1], considerando deficientes aquellos valores por debajo de la puntuación 0.15, aceptables en torno a 0.07 y óptimos por debajo de 0.03.

Teniendo en cuenta los valores alcanzados en las tres variables anteriores, y aplicando alguna de las metodologías disponibles [10], se obtendrá la evaluación A Priori de un nuevo suministrador en el rango (0–10). Calificaciones por debajo de 6 puntos implicarán la no homologación del proveedor, en torno a 8 puntos se considerarán aceptables y por encima de 9 puntos, óptimas. En nuestro caso, tal como se detallará más adelante, se utilizarán y analizarán dos métodos de valoración: uno de ponderación de factores y otro basado en un sistema de inferencia borroso.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIABLES IMPLICADAS EN LA VALORACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y EN LA EVALUACIÓN "A POSTERIORI"

La variable [Entrega] representa la inadecuación de la misma a los requerimientos de la empresa y se mide como el ratio: (número de órdenes retrasadas + número de órdenes adelantadas) respecto al total de órdenes cursadas. Para definir la variable [Calidad] relativa a las órdenes de compra

se consideraron dos aspectos determinantes relativos a los productos objeto de rechazo: los que debieron ser devueltos directamente al proveedor y aquellos otros para los que se solicitó un reacondicionamiento. Por tanto, la variable [Calidad] es cuantificada como una media ponderada de dos índices C1 y C2, siendo C1 el coste asociado a la proporción de productos rechazados y C2 el de la proporción de productos reacondicionados –ambos respecto al total de coste de órdenes cursadas-. Se ha decidido expresar ambos índices en términos de coste -y no como fracción defectuosa-, a fin de homogeneizar los rechazos de productos de diferente naturaleza y se han ponderado dichos índices en una relación 80% - 20% por considerar más perjudicial el hecho de rechazar directamente un producto, sin posibilidad de reacondicionamiento. La variable [Respuesta] mide la capacidad de adaptación del proveedor a imprevistos que pudieran surgir. Su valor se obtiene como promedio de tres índices relativos a su capacidad para realizar entregas inmediatas, realizar cambios tras la solicitud de pedidos y realizar un adelanto en los pedidos demandados respectivamente. El rango de valoración para estas tres variables es [0–1], considerando deficientes aquellos valores por encima de la puntuación 0.15, aceptables en torno a 0.07 y óptimos por debajo de 0.03.

La variable de salida [Comportamiento] se obtiene a partir de los valores de las tres variables anteriores, de modo análogo a como fue calculada la evaluación A Priori. Finalmente, de acuerdo con el modelo propuesto, la conjugación de las variables [Ev. A Priori] y [Comportamiento] con alguna de las metodologías disponibles (desarrolladas en la siguiente sección), permitirá determinar la valoración final del proveedor [Ev. A Posteriori].

4. METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN USADAS EN EL MODELO. RESULTADOS, EJEMPLIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

Se han abordado dos metodologías para realizar las evaluaciones de las variables dependientes del modelo: un método de ponderación de factores –tradicionalmente empleado en las pymes- y un sistema de inferencia borroso –que mitiga algunos inconvenientes detectados en el método previo y simultáneamente permite corroborar la consistencia de las reglas de decisión adoptadas en el proceso de evaluación-.

4.1. MÉTODO DE PONDERACIONES

En este tipo de métodos [18], las valoraciones de las variables dependientes se calculan por ponderación aritmética de las calificaciones de las independientes –siendo los responsables de compras quienes, habitualmente, acorde a su experiencia, definen subjetivamente los pesos de ponderación de cada variable-. A continuación se muestra la formulación propuesta en el modelo diseñado:

$$[Ev. A Priori] = 10 * (W1 * [Estructura] + W2 * [Sistema_Q] + W3 * [Economía]) \quad (1)$$

$$[Comportamiento] = 10 * (Wc1 * [Entrega] + Wc2 * [Calidad] + Wc3 * [Respuesta]) \quad (2)$$

$$[Ev. A Posteriori] = Wp1 * [Ev. A Priori] + Wp2 * [Comportamiento] \quad (3)$$

En caso de que la valoración obtenida para [Ev. A Posteriori] fuese “Deficiente” (puntuación por debajo de “6”), sería conveniente no homologar al proveedor, y comunicarle el resultado de dicha no conformidad. Así, usando los valores finales obtenidos tanto para proveedores nuevos como históricos ya es posible clasificarlos conforme a un sistema de categorización establecido por el responsable de compras según criterios predefinidos.

A pesar del fácil desarrollo y puesta en marcha de este método de evaluación, también se detectan en él diversos inconvenientes:

- Un comportamiento lineal no deseable en las variables de salida, derivado de la estructura de las fórmulas propuestas anteriormente.
- La dificultad de mostrar ciertos aspectos que podrían ser potencialmente requeridos en el modelo. Por ejemplo, el hecho de que un valor económico deficiente determine la descalificación directa de un proveedor o que una inadecuada estructura de la empresa del proveedor evaluado haga que se le penalice consecuentemente.
- La necesidad de normalizar los rangos de las variables de entrada para que concuerden con los de la variable de salida –en nuestro caso en el rango (0-10). Por tanto, un valor de [Entrega=0.03] debería interpretarse como óptimo en dicha escala, debiendo normalizarse a un valor en torno al “9”.

En la siguiente sección se presenta un sistema de inferencia borroso como metodología alternativa de evaluación que es capaz de mitigar los efectos de los inconvenientes anteriormente descritos y, al mismo tiempo, permite emular la forma de razonar humana respecto a la toma de decisiones con datos sujetos a incertidumbre.

4.2. SISTEMAS DE INFERENCIA BORROSOS

Basados en la teoría de conjuntos borrosos [19], los sistemas de inferencia borrosos se construyen a partir de variables lingüísticas cuyos valores son etiquetas asociadas a conceptos del lenguaje común [20]. Dichos sistemas requieren establecer una base de conocimiento a partir del saber hacer del experto sobre el problema planteado. Este conocimiento permitirá explicar el funcionamiento operativo del sistema a través de reglas lingüísticas, generalmente condicionales, construidas con las variables de entrada y salida del problema.

Los sistemas de decisión borrosos tipo *Mamdani* infieren los resultados en una metodología de cinco fases: 1) *borrosificación* de los valores numéricos *crisp* de las variables de entrada, 2) aplicación de operadores lógicos a los antecedentes de cada regla, 3) aplicación de un método de implicación al consecuente de cada regla que se activa, 4) agregación de todos los consecuentes obtenidos en la fase previa para toda la base de reglas y 5) *desborrosificación* del agregado borroso final en cada variable de salida (una descripción detallada de esta metodología puede consultarse en [21]).

Para llevar a cabo el análisis borroso objeto de este trabajo se utilizó el *Toolbox Fuzzy* (v. 2.0) de *MATLAB* 6.5 [22] y se definieron tanto las etiquetas borrosas de las variables del problema como las bases de reglas depositarias del conocimiento de cada subsistema de decisión (ver Figuras 2 y 3).

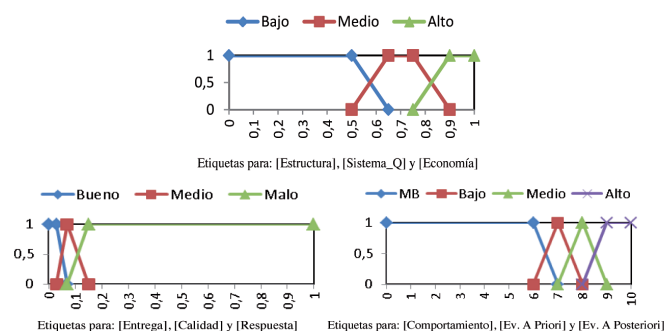


Fig. 2: Etiquetas establecidas para las variables del modelo

En la Figura 2 puede observarse cómo los solapes entre etiquetas, definidos en el diseño borroso del sistema, se ajustan con suficiente aproximación a los valores umbrales definidos de modo *crisp* para los cambios de categoría de las variables implicadas en los apartados 3.1. y 3.2. Estos valores umbrales (*crisp* o borrosos) podrían ser ajustados en cada empresa o sector específico a partir del conocimiento experto recabado sobre el mismo.

"Ev. A Priori"		Estructura								
		B	M	A	B	M	A	B	M	A
Sistema_Q	B	NH			NH	M	M	B	M	M
	M				B	M	M	M	A	A
	A				M	M	A	A	A	A
		B			M			A		
		Economía								

"Comportamiento"		Entrega								
		Ma	M	Bu	Ma	M	Bu	Ma	M	Bu
Calidad	Ma	MB			MB			MB		
	M	MB	B	B	B	M	M	B	M	M
	Bu	MB	B	M	B	M	A	B	M	A
		Ma			M			Bu		
		Respuesta								

"Ev. A Posteriori"		Comportamiento			
		MB	B	M	A
Ev. A Priori	NH	MB	MB	MB	MB
	B	MB	MB	B	M
	M	MB	MB	B	A
	A	MB	B	M	A

Fig. 3: Bases de reglas para los subsistemas: Ev. A Priori, Comportamiento y Ev. A Posteriori

NH:No homologable, MB:Muy Bajo, B:Bajo, M:Medio, A:Alto, Ma:Malo, Bu:Bueno

Por ejemplo, la regla correspondiente a la celda sombreada en la primera base de reglas se interpretaría como: SI (“Estructura” es Alta Y “Sistema_Q” es Baja Y “Economía” es Media) ENTONCES (“Ev. A Priori” es Media).

La operativa de un sistema Mamdani consiste en inferir un valor numérico crisp para cada variable de salida en función de los valores crisp de sus correspondientes variables de entrada. Así, los valores crisp obtenidos para cada variable de entrada se borrosifican mediante la activación de las etiquetas que interceptan en sus universos de discurso (determinando los valores de verdad –altura entre 0 y 1- de cada etiqueta interceptada). Con los valores de verdad de las etiquetas activas presentes en el antecedente de una regla y aplicando los operadores correspondientes a los conectivos lógicos del antecedente, se obtiene el valor de verdad global de cada regla (para el conectivo lógico más frecuentemente usado “Y” suele optarse por considerar el operador “min”). En la fase de implicación, el valor de verdad global (también conocido como nivel de activación de la regla) se transmite al consecuente de la regla (generalmente truncando a dicho nivel la etiqueta de la variable de salida). En la fase de agregación, se agrupan las etiquetas truncadas de todas las reglas activas (generalmente superponiéndolas y eligiendo el camino de valores de verdad máximo). Por último, en la fase de desborrosificación, el conjunto borroso obtenido del proceso de agregación, se transforma en el valor crisp final de la variable de salida (generalmente a través del cálculo de la abscisa de su centro de gravedad). En general, aunque el proceso pueda parecer complejo operativamente en un departamento de compras, existen múltiples programas software (comerciales y libres [23]) para llevar a cabo este proceso de evaluación de un modo sencillo, sin más que definir las etiquetas asociadas a las variables del sistema y las reglas del mismo.

Esta configuración característica del modelo borroso permite soslayar determinados aspectos señalados como inconvenientes en el método de ponderaciones. Así, en la propia definición de la variable “Economía” se ha impuesto un límite por debajo del cual un proveedor no debe ser homologado. Por otra parte, la definición directa e independiente de las etiquetas asociadas a cada variable hace innecesario tener que estandarizar de un modo común todos sus rangos.

Una vez diseñado cada subsistema borroso del modelo, se puede inferir la evaluación de cada proveedor a partir de los valores numéricos “crisp” asignados a sus variables de entrada. Además, es fácil e intuitivo analizar la congruencia de la evaluación otorgada en cada subsistema gracias a los mapas

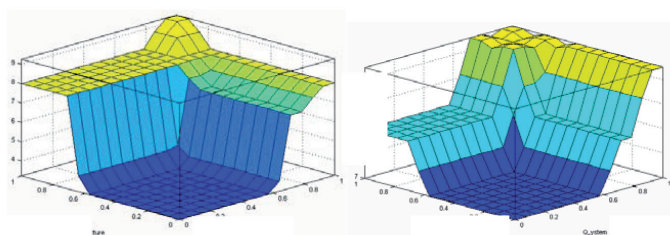


Fig. 4: Mapas de la Evaluación “A priori” en función de las variables “Estructura” y “Sistema_Q” (para un valor de la variable “Economía”: intermedio –izda.- y alto –dcha.-)

de inferencia que devuelve la herramienta. Por ejemplo, la Figura 4 muestra la estructura de la Evaluación A Priori para cualquier suministrador en función de dos variables de entrada (mostradas en los ejes X e Y), considerando constante el valor de la tercera variable de entrada no mostrada en el gráfico.

El análisis de las valoraciones obtenidas en la Figura 4 muestra la congruencia del subsistema analizado “Ev. A Priori”. Así, en el gráfico izquierdo –asociado a valores intermedios de la variable “Economía”–, se observan altos gradientes crecientes para la evaluación a priori a partir de valores medios en las variables “Estructura” y “Sistema_Q”. Por su parte, en el gráfico derecho –asociado a valores altos de la variable “Economía”–, se observa que el valor meseta de partida para la evaluación a priori es sensiblemente mayor que en el caso del gráfico izquierdo. Este comportamiento es acorde a la base de reglas de dicho subsistema y pone de manifiesto la importancia que tiene el valor de la variable “Economía” asignado a un proveedor en el mismo. De esta manera, al analizar todas las combinaciones de las variables implicadas en cada subsistema es posible refinar el conocimiento embebido en su base de reglas (en caso de encontrar algún tipo de inconsistencia), lo que permitirá garantizar la robustez del modelo y su capacidad de adaptación a entornos o sectores donde el carácter de la evaluación deba ser diferente.

La Figura 5 muestra el mapa de soluciones para la evaluación a posteriori de cualquier proveedor en función de sus variables de entrada “Ev. A Priori” y “Comportamiento”. En dicha figura, puede observarse que para valores por encima del umbral “6” en las variables de entrada, se obtienen altos gradientes crecientes en la variable de salida y que estos gradientes son más intensos respecto de la variable “Comportamiento” (evolución deseable cuando se desea priorizar el buen comportamiento del proveedor en su evaluación final).

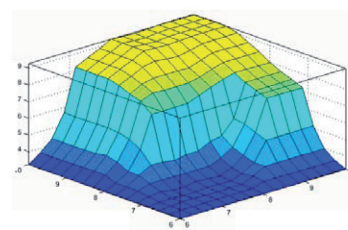


Fig. 5: Mapa de la evaluación “A posteriori” en función de las variables “Comportamiento” y “Ev. A priori”

De estos resultados se deduce que los diferentes subsistemas implicados en el modelo borroso de evaluación final son intuitivamente interpretables gracias a los mapas de inferencia y es relativamente sencillo analizar la congruencia del conocimiento insertado en sus bases de reglas.

4.3. EJEMPLIFICACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para las ejemplificaciones de este apartado se ha decidido que en el método de ponderaciones, los pesos en la evaluación “a priori” hagan primar a la variable “Economía” ($W1=W2=1/6$ y $W3=2/3$); para valorar el “comportamiento” se supone equiponderación de factores ($Wc1=Wc2=Wc3=1/3$) y para la evaluación “a posteriori” primará la evaluación

del comportamiento ($Wp1=0.3$ y $Wp2=0.7$). Por su parte, el método basado en un sistema de inferencia borroso (SIF), tendrá en cuenta las definiciones de etiquetas y reglas hechas en las Figuras 2 y 3.

Para el ejemplo 2, según el método de ponderaciones, las columnas (10), (11) y (12) deben normalizarse a partir de las columnas (7), (8) y (9) a través de una función de interpolación como la dada en la Figura 6, para que sus calificaciones

Ejemplo 1					
Proveedor	Estructura	Sistema_Q	Economía	Ev. A Priori (W_i)	Ev. A Priori (SIF)
1. Nuevo	0.90	0.90	0.50	6.33	3.23
2. Nuevo	0.50	0.90	0.90	8.33	9.25

En el ejemplo 1 y respecto al proveedor nuevo 1, puede observarse cómo el método de ponderaciones (W_i) permite su aprobación (6.33) pese a tener una mala calificación en su variable “Economía”, determinante en la deshomologación. Por el contrario, el método (SIF) penaliza adecuadamente a ese proveedor (3.23) no permitiendo su homologación. Este ejemplo pone de manifiesto el carácter absolutamente lineal del método de ponderaciones –pese a imponer un peso específico importante en la variable “Economía”-. Para el proveedor 2, (con buena puntuación en la variable “Economía”) puede verse que las valoraciones de ambos métodos son mucho más próximas.

se encuentren en el mismo rango de valoración (0-10) que su correspondiente variable de salida “Comportamiento (13)”. Esto supone un inconveniente no presente en el método SIF, ya que su variable “Comportamiento (14)” puede calcularse directamente con los valores de las columnas (7), (8) y (9) sin necesidad de efectuar tal normalización.

También puede observarse como la puntuación de comportamiento del proveedor histórico 6 obtenida por el método SIF (4.63) es penalizada adecuadamente frente al método de ponderaciones (6.25) dada la valoración mediocre que tienen las variables “Entrega”, “Calidad” y “Respuesta”. Y es que, nuevamente, el método de ponderaciones tiende a reflejar su

Ejemplo 2															
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
Proveedor	Estructura	Sistema_Q	Economía	Ev. A Priori (W_i)	Ev. A Priori (SIF)	Entrega	Calidad	Respuesta	Entrega'	Calidad'	Respuesta'	Comportamiento (W_i)	Comportamiento (SIF)	Ev. A Posteriori (W_i)	Ev. A Posteriori (SIF)
3. Hist	0.90	0.90	0.50	6.33	3.23	0.01	0.01	0.01	9.67	9.67	9.67	9.67	9.25	8.67	3.23
4. Hist	0.90	0.90	0.50	6.33	3.23	0.50	0.50	0.50	2.94	2.94	2.94	2.94	3.23	3.96	3.23
5. Hist	0.75	0.75	0.75	7.50	8.00	0.07	0.07	0.07	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	7.15	7.00
6. Hist	0.90	0.90	0.90	9.00	9.25	0.10	0.10	0.10	6.25	6.25	6.25	6.25	4.63	7.08	3.23

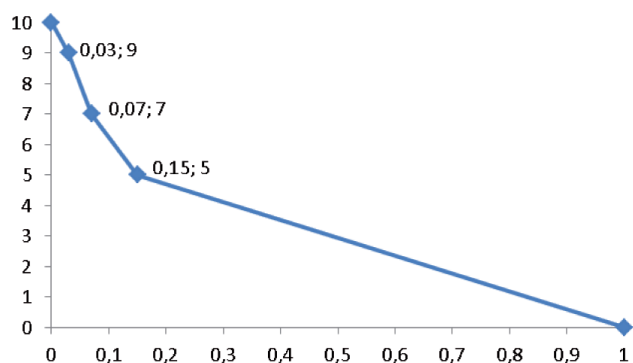


Fig. 6: Función de interpolación para la normalización de rangos de las variables “Entrega”, “Calidad” y “Respuesta”

carácter lineal y menos penalizador que el SIF. En este mismo proveedor 6, la evaluación a posteriori resulta adecuadamente calificada con el método SIF (3.23) frente al método de ponderaciones (7.08). Ello se debe a que las calificaciones derivadas con el método SIF siguen penalizando al proveedor, lo que no ocurre con el método de ponderaciones – que mantiene una calificación final más que aceptable (7.08) para ese proveedor debido a la formulación prefijada en el método, sin que en la práctica real tuviese que ser así-.

Un análisis semejante puede realizarse en el proveedor histórico 3. En él se puede observar que la evaluación a priori por el método SIF (3.23) penaliza adecuadamente a dicho proveedor (frente al método de ponderaciones “6.33”) dada la mala puntuación de la variable “Economía”. En la transmisión a la evaluación a posteriori, el método de ponderaciones

daría una calificación notable al mismo (8.67) cuando debiera ser baja tal como refleja el método SIF (3.23), y ello porque la variable “Economía” se considera determinante aunque las calificaciones de comportamiento sean buenas.

En el proveedor histórico 4, la evaluación a priori del método de ponderaciones no sería adecuada (6.33) dado el bajo valor de la variable “Economía”. No obstante, al ser muy deficientes los factores que determinan el comportamiento, ambos métodos tienden a dar una mala valoración en la evaluación a posteriori.

Por último en el proveedor histórico 5, no existen diferencias sustanciales entre ambos métodos, dado que todas las variables independientes tienen valores intermedios.

Estas ejemplificaciones ponen de manifiesto la idoneidad del método SIF (frente al de ponderaciones) para evaluar adecuadamente a un proveedor. Basta con definir una base de reglas que recoja la lógica que se quiere que siga la evaluación –la cual puede ser definida de un modo muy intuitivo y adaptable a cada empresa como fue reflejado en la Figura 3-. Usando el método SIF se exime del proceso de normalización de variables y se permiten gestionar comportamientos no lineales haciendo posible reflejar ciertos matices potencialmente exigibles a las variables incluidas en el modelo (por ejemplo que una situación económica deficiente por sí sola determine la no homologabilidad del proveedor).

4.4. VALIDACIÓN EMPÍRICA

Para validar el modelo propuesto se ha realizado una encuesta a una muestra de 34 empresas del sector metalmecánico (aluminio) en el Principado de Asturias (Spain) que fueron las que aceptaron analizar su funcionamiento durante un periodo de 9 meses (Población=77, n=34, nivel confianza=95%, error=11%). El estudio empírico midió la satisfacción de estas empresas respecto a diferentes dimensiones de funcionalidad del modelo puntuables en una escala 0-10. El formulario resumido de la encuesta se adjunta en la Figura 7.

Las dimensiones mejor valoradas (valores medios en torno a “7” puntos) fueron: “Relevancia”, “Rigor y Claridad”, “Fiabilidad”, “Capacidad de implementación de mejoras”, “Utilidad”, “Facilidad de uso” y “Capacidad de implementación”.

Por su parte, las peor valoradas (valores medios en torno a “4.5” puntos) fueron “Adecuación al uso” y “Adaptabilidad”. Además, no se encontraron diferencias significativas en estas valoraciones según el tamaño de la empresa encuestada.

Aunque el alcance de este análisis no es generalizable al ámbito nacional (debido al escaso tamaño muestral participante), si provee información valiosa –a nivel regional- sobre el potencial de uso del modelo propuesto. Así, puede concluirse que, dentro del ámbito chequeado, la técnica propuesta ofrece suficiente claridad y fiabilidad, pudiendo resultar en una mejora sustancial de la gestión de compras para las empresas del sector. No obstante también pueden surgir problemas de adaptación a los sistemas de información que actualmente tienen implantados estas empresas. Con todo, se corrobora un gran potencial de aplicación de la metodología propuesta en la objetiva evaluación de proveedores para las pymes y una buena capacidad de adaptación a cada sector industrial en que desee implantarse.

5. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un modelo para efectuar la evaluación de proveedores que sistematiza la medición evitando el habitual juicio subjetivo de los responsables de compras en la empresa. La propia estructura del modelo propuesto contribuye a conseguir los objetivos planteados. De una parte, solventa una serie de inconvenientes habituales en este proceso como la falta de robustez de algunos modelos propuestos de carácter sencillo o la dificultad de aplicación en las pymes de otros demasiados complejos. Por otra parte, consigue uniformizar la terminología empleada en la evaluación de proveedores y utiliza para tal evaluación los factores más habitualmente empleados en la literatura. El modelo propuesto también permite evaluar simultáneamente a proveedores nuevos e históricos, lo que facilita actualizar la lista de proveedores homologados y su ranking. Desde el punto de vista operativo, el modelo permite, a través de un sistema de inferencia borroso, conceptualizar de modo sencillo el conocimiento para evaluar a los proveedores de una empresa concreta.

	Dimensión	Afirmación a valorar en la escala [0(total desacuerdo) –10 (total acuerdo)]
P1	Relevancia	La Técnica propuesta es relevante para conseguir evaluar adecuadamente a proveedores
P2	Rigor y Claridad	La implantación del modelo propuesto es riguroso y claro
P3	Fiabilidad	La propuesta ofrece una operativa fiable
P4	Propiedad	La implantación de la propuesta en su empresa es apropiada en este momento
P5	Adaptabilidad	El modelo se adapta al sistema operativo que sigue su empresa respecto a la evaluación de proveedores
P6	Mejora	La implantación del modelo puede lograr diferentes tipos de mejora en su empresa
P7	Utilidad	La propuesta es útil para su empresa
P8	Amigable	El modelo propuesto es fácil de usar
P9	Grado aceptación	Teniendo en cuenta las calificaciones anteriores ¿Adoptaría esta técnica en el futuro en su empresa?

Fig. 7: Cuestionario para medir la satisfacción de las empresas de la muestra respecto a la aceptación del modelo propuesto

El sistema de inferencia borroso planteado para evaluar el modelo es más eficiente que otros métodos tradicionales de ponderación de factores. Esto es así debido a su mejor gestión de los comportamientos no lineales de algunas variables, y a que no exige la normalización de sus rangos. Además, este sistema obvia la subjetividad inherente a la asignación de pesos de importancia a las variables del modelo y permite insertar el conocimiento para la valoración a través del saber hacer experto en la evaluación de proveedores. Esta inserción de conocimiento tiene lugar mediante el lenguaje natural a través de reglas borrosas de sencilla implementación en las pymes, como ha puesto de manifiesto un estudio empírico de validación.

AGRADECIMIENTOS

La financiación para el desarrollo del presente trabajo ha sido otorgada por la Consejería de Economía y Empleo del Principado de Asturias (Proyecto de Investigación Ref. SV-PA-13-ECOEMP-74).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Brun A, Portioli-Staudacher, A. "Negotiation-driven supply Chain Co-ordination small and medium enterprises". In: Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence. Workshop 13 - Agent Technologies and their application scenarios in logistics. Timm IJ, et al. (eds). Berlin. August 20-25, 2000. p.55-60.
- [2] Wouters M, Anderson JC, Wynstra F. "The adoption of total cost of ownership for sourcing decisions - a structural equations analysis", *Accounting, Organizations and Society*. Aug 2005. Vol.30-2. p.167-191. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aos.2004.03.002>
- [3] UNE-EN ISO 9001:2008. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. (ISO 9001:2008)
- [4] UNE-ISO/TS 16949:2009. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos particulares para la aplicación de la Norma ISO 9001:2008 para la producción en serie y de piezas de recambio en la industria del automóvil.
- [5] Chen-Tung C, Ching-Torng L, Sue-Fn H. "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management", *International Journal of Production Economics*. Aug 2006. Vol.102-2. p.289-301. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009>
- [6] Amid A, Ghodsypour SH, O'Brien C. "Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain", *International Journal of Production Economics*. Dec 2006. Vol.104-2. p.394-407. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.04.012>
- [7] Dickson GW. "An analysis of vendor selection systems and decisions", *Journal of Purchasing*. Winter 1966. Vol.2-1. p.5-17.
- [8] Bhutta MKS. "Supplier selection problem: methodology literature review", Nicholls State University, Thibodaux, USA, 2003.
- [9] Weber CA, Current JR, Benton WC. "Vendor selection criteria and methods", *European Journal of Operational Research*. Jan 1991. Vol.50-1. p.2-18. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90033-R](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(91)90033-R)
- [10] Degraeve Z, Labro E, Roodhooft F. "An evaluation of supplier selection methods from a total cost of ownership perspective", *European Journal of Operational Research*. Aug 2000. Vol.125-1. p.34-58. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00199-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00199-X)
- [11] de Boer L, Labro E, Morlacchi P. "A review of methods supporting supplier selection", *European Journal of Purchasing & Supply Management*. June 2001. Vol.7-2. p.75-89. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00028-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00028-9)
- [12] Ho W, Xu X, Dey PK. "Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review", *European Journal of Operational Research*. April 2010. Vol.202-. p.16-24. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.009>
- [13] Gascón F, de la Fuente D, Puente J, Lozano J. "On macroeconomic characteristics of pharmaceutical generics and the potential for manufacturing and consumption under fuzzy conditions", *Artificial Intelligence in Medicine*. Nov 2007. Vol.41-3. p.223-235. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.artmed.2007.07.001>
- [14] Fernández I, Puente J, García N, Gómez A. "A decision making support system on products recovery management framework. A fuzzy approach", *Concurrent Engineering: Research and Applications*. June 2008. Vol.16-2. p.129-138. doi: [10.1177/1063293X08092486](http://dx.doi.org/10.1177/1063293X08092486)
- [15] Ohdar R, Ray PK. "Performance measurement and evaluation of suppliers in supply chain: an evolutionary fuzzy-based approach". *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2004. Vol. 15-8. p.723-734. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/17410380410565311>
- [16] Balzer WK, Sulsky LM. "Halo and performance appraisal research: A critical examination", *Journal of Applied Psychology*. Dec 1992. Vol.77-6. p.975-985. doi: <http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0021-9010.77.6.975>
- [17] Nakayama M, Sutcliffe NG. "Exploratory analysis on the halo effect of strategic goals on IOS effectiveness evaluation", *Information and Management*. Jan 2005. Vol.42-2. p.275-288. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.im.2003.12.002>
- [18] Timmerman E. "An approach to vendor performance evaluation", *Journal of Purchasing & Materials Management*. Winter 1986. Vol.22-4, p.2-8. doi: [10.1109/EMR.1987.4306294](http://dx.doi.org/10.1109/EMR.1987.4306294)
- [19] Zadeh LA. "Fuzzy sets", *Information and Control*, June 1965. Vol.8-3, p.338-353. [http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- [20] Driankov D, Hellendoorn H, Reinfrank M. *An Introduction to Fuzzy Control*. 2nd edition. Berlin, Springer-Verlag, 1996, 316p. ISBN: 3-540-56362-8
- [21] Chen CB, Klein CM. "An Efficient Approach to Solving Fuzzy MADM Problems", *Fuzzy Sets and Systems*. May 1997. Vol.88-1, p.51-67. [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114\(96\)00048-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114(96)00048-6)
- [22] Mamdani EH, Gains BR. *Fuzzy Reasoning and its Applications*. New York, Academic Press, 1981. 381p. ISBN: 0-12-467750-9.
- [23] Sanchez S. Xfuzzy 3 [en línea]. ver 3.3. Centro Nacional de Microelectrónica. Instituto de Microelectrónica de Sevilla. Disponible en <http://www2.imse-cnm.csic.es/Xfuzzy/index.html>.