

# UTILIZACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA EN LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO EN PROYECTOS

Antonio Rodríguez-Suárez  
*Universidad Alfonso X El Sabio*

## Abstract

Every technical project has an associated risk level; evaluation of that risk level is a fundamental task in order to minimize the occurrence probability of adverse events and to diminish their negative consequences. Several authors propose the use of fuzzy logic in evaluation and decision making models, usually based either on fuzzy inference systems (FIS) or on fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). The aim of this document is to demonstrate the usefulness of fuzzy logic in information technology and communication (ITC) projects risk assessment. An improvement in FIS model is proposed.

**Keywords:** *Development projects, risk assessment, fuzzy logic, fuzzy systems, FIS, fuzzy analytic hierarchy process, FAHP.*

## Resumen

Todo proyecto de ingeniería conlleva un nivel de riesgo asociado; la evaluación de dicho nivel de riesgo es fundamental para disminuir la probabilidad de ocurrencia de los eventos adversos y minimizar sus posibles efectos. Diversos autores plantean el uso de la lógica difusa como base de modelos de toma de decisión y evaluación; dichos modelos suelen utilizar o sistemas difusos (FIS) o AHP difuso (FAHP). Se pretende demostrar la utilidad de la lógica difusa en la evaluación del riesgo en proyectos de tecnologías de la información y las comunicaciones y proponer una mejora del modelo basado en sistemas difuso.

**Palabras clave:** *Proyectos de desarrollo, evaluación del riesgo, lógica difusa, sistemas difusos, FIS, FAHP.*

## 1. Introducción

A los efectos de este trabajo, entendemos por riesgo aquel evento de cuya materialización no se tiene certeza pero que, de ocurrir, tendrá consecuencias negativas en el cumplimiento de las especificaciones, plazos y/o presupuesto del proyecto. La gestión del riesgo en proyectos es una aplicación particular de la gestión general del proyecto (Cooper et al., 2005) y consiste en un proceso sistemático de identificación, análisis, evaluación, respuesta y control del riesgo en el proyecto (PMI, 2004; Cooper y Chapman, 1987; Chapman y Ward, 2003).

El concepto de riesgo está ligado al de información: A menor información, mayor incertidumbre (Ortega y Roqueñí, 2003). Un aspecto fundamental de la gestión del riesgo consiste en su evaluación. Si algo no es medido no puede ser controlado y, lo que no se controla, no se puede gestionar (Muñoz y Sánchez, 2008).

La evaluación del riesgo es un elemento indispensable en la selección de proyectos. Una evaluación cuantitativa del nivel general del riesgo en el proyecto proporciona una herramienta que permite tomar decisiones a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Estas decisiones pueden ser relativas a la modificación de actividades, inclusión de nuevas actividades, implementación de planes de contingencia e incluso, abandono del proyecto.

Un método de evaluación del riesgo debe proporcionar una valoración del riesgo con relación a su probabilidad de acaecimiento y a sus posibles consecuencias adversas, a partir de los factores que pueden ser causas de riesgo.

La evaluación cuantitativa del riesgo requiere de la implementación de modelos de evaluación y toma de decisiones. Dichos modelos utilizan como variables de entrada a los distintos factores de riesgo; es decir, a las distintas causas que pueden generar eventos negativos que afecten al proyecto.

De entre los numerosos modelos existentes, destacan aquellos basados en lógica difusa; en particular los basados en AHP difuso (FAHP) y los basados en sistema difuso (FIS).

Diversos autores proponen el uso de sistema difuso en la medición del riesgo global en proyectos (Han, 2005; Parsiani, 2006) o para la evaluación de riesgos particulares combinados (Bodea y Dascalu, 2009).

Los métodos basados en FIS son intuitivos y gráficos en su implementación, fáciles de ajustar y proporcionan un medio para la implementación de los juicios de los expertos mediante las reglas de inferencia.

No obstante, los métodos de evaluación del riesgo basados en sistema difuso tienen dos desventajas significativas:

- La necesidad de asignar valores numéricos a las variables de entrada: No siempre es posible disponer de valores numéricos fiables que puedan ser asignados a las variables de entrada (Schmucker, 1984; Jones, 1994), especialmente en las etapas tempranas de un proyecto (Gray y McDonell, 1997)
- La ineficacia de su implementación cuando se requiere de más de tres o cuatro variables de entrada con efectos combinados sobre la variable de salida.

El objetivo de este trabajo es el de plantear un método que permita el uso directo de variables lingüísticas como variables de entrada del sistema difuso y un procedimiento para la depuración del número de variables de entrada.

El método propuesto es aplicado a un caso práctico de evaluación del riesgo en proyectos de desarrollo, implementados por una empresa española del área de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

## 2. Lógica difusa

En la lógica difusa (Zadeh, 1965), también conocida como lógica borrosa, una afirmación no solo puede ser cierta o falsa, como sucede en la lógica clásica, sino que además se establece una escala de valores intermedios entre la certeza absoluta o la falsedad absoluta (Jantzen, 2006).

Un conjunto es una colección de objetos. Según la teoría clásica de conjuntos, un objeto pertenece o no pertenece a un conjunto.

Dado un universo  $X$ , la pertenencia o no de un elemento  $x$  a un conjunto  $A$  específico, queda determinada por una función de pertenencia  $\mu_A(x)$ :

$$A = \{x, \mu_A(x) / x \in X\} \quad (1)$$

Un conjunto clásico, tiene una función de pertenencia con límites abruptos:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (2)$$

Para un conjunto difuso se establece una gradación en la pertenencia al conjunto representada por una función de pertenencia con valores entre 0 y 1 (Jang y Gulley, 2007).

La lógica difusa permite la asignación de valores lingüísticos a las variables de un problema. El uso de variables con valores lingüísticos tiene la ventaja de asemejar la valoración de un parámetro a la que suelen realizar las personas, ya sean expertos (Zimmermann, 1987) o no (Jones, 1994).

## 2.1 Sistema difuso

Un sistema difuso (Fuzzy Inference System, FIS o también Fuzzy Rule-Based System, FRBS) estará formado por varias reglas difusas con diferentes consecuentes (Pérez-Pueyo, 2005). La arquitectura básica de un sistema basado en lógica difusa, es la que se muestra en la figura 1 (McNeill, 1994; Olivas, 2007; Pérez-Pueyo, 2005; Kosko, 1997; Slany, 1996).

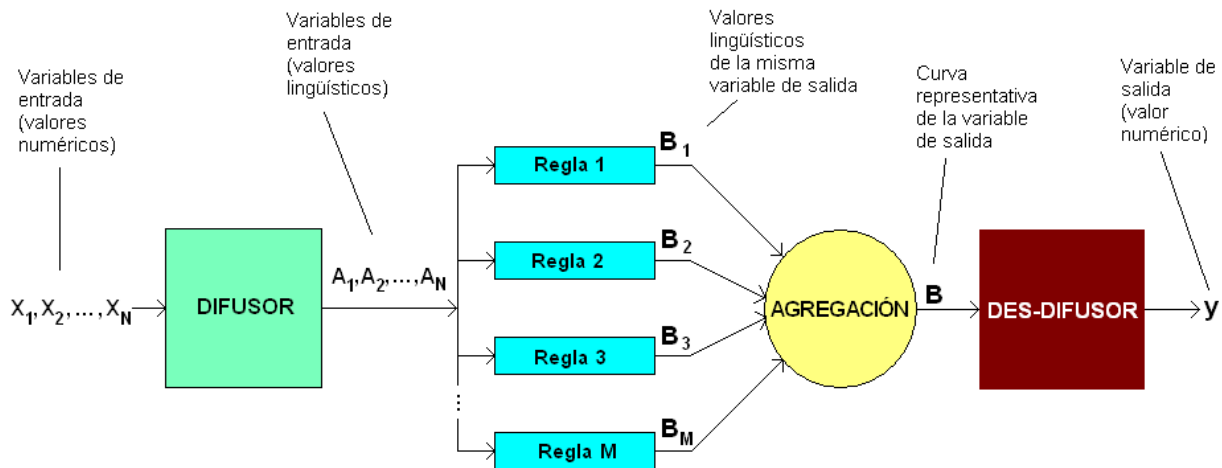


Figura 1. Sistema basado en lógica difusa

Los componentes del sistema son los siguientes (Jang y Gulley, 2007):

1. Un bloque difusor, por el que a cada variable de entrada se le asignará un valor entre 0 y 1, en función de su grado de pertenencia a los conjuntos difusos que se están considerando.
2. Un bloque de inferencia con reglas del tipo:
 

(Condición 1) AND (Condición 2) AND ... AND (Condición N) THEN (Salida)

 y que relacionan los conjuntos difusos de entrada con los de salida.
3. Un bloque de agregación lógica, por el que, a partir de los conjuntos difusos obtenidos a la salida del bloque de inferencia, se obtiene un único conjunto de salida. La agregación lógica puede realizarse hallando el máximo de las funciones de pertenencia de los conjuntos de salida (OR) o mediante la suma algebraica de las funciones de pertenencia de los conjuntos de salida. Cuando las distintas reglas representan restricciones con

distinta prioridad, la suma de las funciones de pertenencia se hace en forma ponderada (Kosko, 1997; Slany, 1996):

$$B = \sum_{j=1}^m w_j B_j \quad (3)$$

4. Un bloque des-difusor, que realiza una operación inversa a la que realiza el bloque difusor; es decir, que a partir del conjunto difuso de salida del bloque de agregación lógica, obtiene un valor numérico. La des-difusión se puede realizar mediante diversos métodos, algunos de los cuales son:

- Máximo. Hallando el valor al que corresponde el máximo de la función de pertenencia del conjunto de salida del bloque de agregación
- Centroide. Hallando el valor del centroide de la función de pertenencia del conjunto de salida del bloque de agregación.

Dada una función de pertenencia, el baricentro del área bajo su curva corresponderá al punto  $(x_c, y_c)$ ; la función centroide será aquella que devuelva el valor  $x_c$ .

El centroide de la función  $f(x)$  puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$x_c = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx}{\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx} \quad (4)$$

Para funciones simétricas,  $x_c$  se corresponderá con el valor central en  $x$ .

La figura 2 muestra un ejemplo de implementación de sistema difuso con reglas de inferencia de idéntico peso, agregación mediante OR y des-difusión mediante centroide.

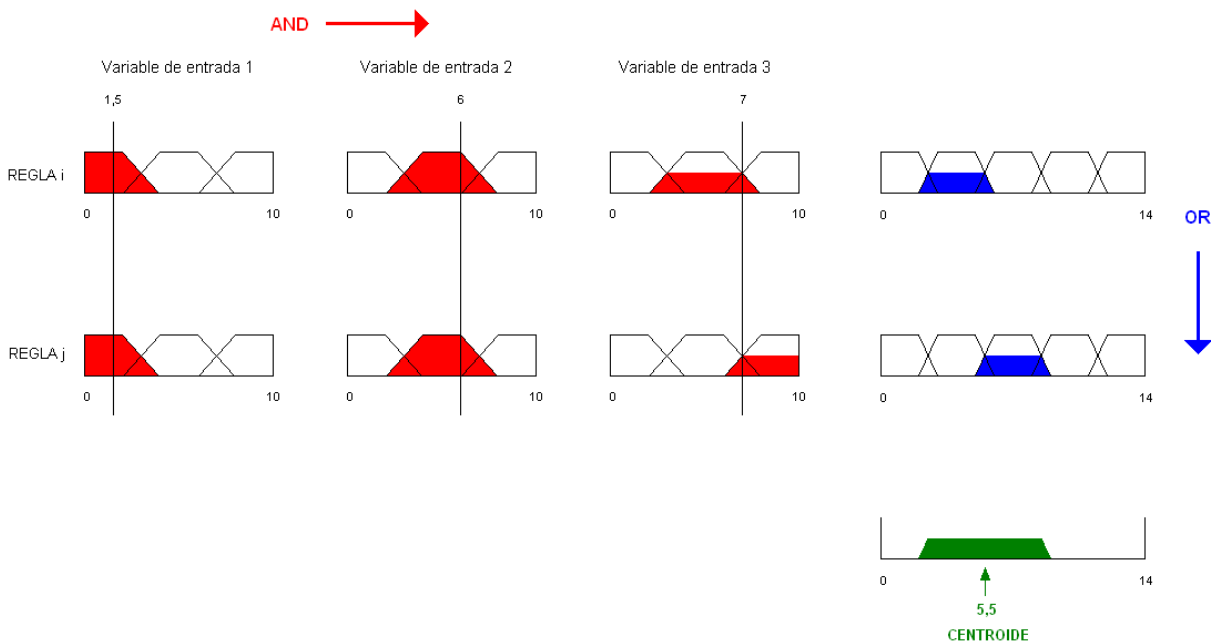


Figura 2. Ejemplo de implementación de sistema difuso

## 2.2 AHP difuso (FAHP)

FAHP (Van Laarhoven y Pedrycz, 1983) está basado en el Analytical Hierarchy Process (AHP).

AHP es una técnica de decisión de criterio múltiple (Saaty, 1980) que puede ser utilizada, en general, para la solución de problemas que requieran evaluación y medida (Coyle, 2004).

La técnica AHP consiste en dos etapas:

1. Diseño: En una primera etapa, se lleva a cabo la representación jerárquica de los factores del problema. En el nivel más alto aparecen los objetivos generales que se van desglosando en objetivos particulares hasta llegar al nivel más bajo en el que aparecen las distintas alternativas.
2. Evaluación: En una segunda etapa, se lleva a cabo la asignación de pesos para cada factor, obtenidos a partir de la comparación, dos a dos, entre factores de cada nivel jerárquico. La comparación se establece mediante los valores mostrados en la tabla 1.

1	El factor i es de igual importancia que el factor j
3	El factor i es moderadamente más importante que el factor j
5	El factor i es fuertemente más importante que el factor j
7	El factor i es muy fuertemente más importante que el factor j
9	El factor i es absolutamente más importante que el factor j
2, 4, 6, 8	Valores intermedios

Tabla 1. Asignación de valores a las variables lingüísticas

En FAHP, a diferencia de AHP clásico, los valores de la tabla 1 se corresponden con el valor central de las funciones de pertenencia. Generalmente dichas funciones de pertenencia se corresponden con números triangulares, tal y como se muestra en la figura 4.

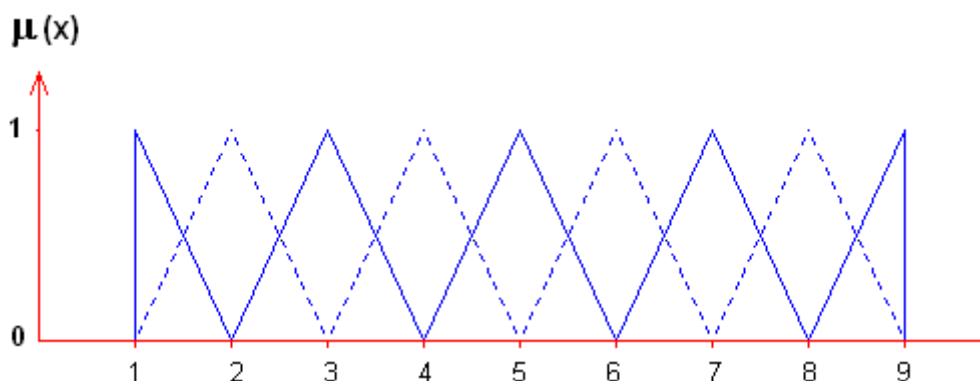


Figura 4. Funciones de pertenencia triangulares

De la comparación, dos a dos, entre factores de un mismo nivel jerárquico, se obtiene una matriz con los distintos pesos relativos representados por números difusos triangulares de la forma  $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$

La correspondencia entre valores discretos, directos e inversos de la tabla 1 y las funciones de pertenencia triangulares directas e inversas es la de la tabla 2 (Chan y Kumar, 2005).

AHP	FAHP	AHP	FAHP
1	(1,1,1) (1,1,2)	1/1	(1,1,1) (1,1,2)
2	(1,2,3)	1/2	(1/3,1/2,1)
3	(2,3,4)	1/3	(1/4,1/3,1/2)
4	(3,4,5)	1/4	(1/5,1/4,1/3)
5	(4,5,6)	1/5	(1/6,1/5,1/4)
6	(5,6,7)	1/6	(1/7,1/6,1/5)
7	(6,7,8)	1/7	(1/8,1/7,1/6)
8	(7,8,9)	1/8	(1/9,1/8,1/7)
9	(8,9,9)	1/9	(1/9,1/9, 1/8)

Tabla 2. Números difusos triangulares

La matriz de comparación resultante es de la forma:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{a}_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (l_{11}, m_{11}, u_{11}) & (l_{11}, m_{12}, u_{12}) & \dots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (l_{22}, m_{22}, u_{22}) & \dots & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \dots & (l_{nn}, m_{nn}, u_{nn}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Con:  $\tilde{a}_{ij} = (1,1,1), \quad i = j \quad (6)$

y  $\tilde{a}_{ji} = \frac{1}{\tilde{a}_{ij}} = \left( \frac{1}{u_{ij}}, \frac{1}{m_{ij}}, \frac{1}{l_{ij}} \right) \quad (7)$

donde:  $\tilde{a}_{ij} = \frac{\tilde{w}_i}{\tilde{w}_j} \quad l_{ij} \lesssim \frac{\tilde{w}_i}{\tilde{w}_j} \lesssim u_{ij} \quad (8)$

A partir de la matriz de comparación, se obtiene el vector de pesos de los criterios de cada nivel jerárquico, en el que los valores ya no se corresponden con números difusos triangulares sino con valores numéricos, que se representan mediante el vector columna:

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \quad (9)$$

El peso de cada criterio ponderará la valoración que de dicho criterio se haga para cada una de las opciones que se estén valorando.

Al igual que en AHP, cuando, en la jerarquía, un criterio esté conformado por varios sub-criterios, la evaluación de cada sub-criterio quedará previamente ponderada por el peso de estos.

Finalmente, como sucede en AHP, se obtendrá un valor para cada una de las opciones bajo estudio a partir de las comparaciones dos a dos de la valoración que para cada criterio se haga de cada opción.

El procedimiento utilizado consiste en los siguientes pasos:

1. A fin de poder determinar la coherencia de la evaluación (Chan y Kumar, 2005; Bai y Kwong, 2003; Nurcahyo, 2003), se toman los valores medios ( $m$ ) de cada número triangular y se realiza el análisis AHP (discreto, no difuso).
2. Se calcula el número difuso triangular  $S_i$  para cada elemento (Ertuğrul y Karakaşoğlu, 2006):

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n u_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n m_{ij}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n l_{ij}} \quad (10)$$

3. Se comparan los distintos números difusos triangulares  $S_i$  dos a dos; el resultado se evalúa asignando los siguientes valores:

$$(S_2 \geq S_1) = \begin{cases} 1 & \text{si } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{si } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{en cualquier otro caso} \end{cases} \quad (11)$$

4. De todos los valores obtenidos de las comparaciones dos a dos de un elemento con los demás se elige el valor mínimo.
5. Se suman todos los valores mínimos y se asigna a cada elemento la normalización de su valor mínimo respecto de esa suma:

$$\frac{\text{mín}(S_n \geq S_i)}{\sum_{j=1}^n \text{mín}(S_j \geq S_i)} \quad (12)$$

6. Se repiten los pasos 1 al 5 para todos los niveles de una misma rama de la jerarquía.
7. Se evalúa cada alternativa con un valor que se corresponderá con el producto de todos los pesos de la rama de la jerarquía.

### 3. Metodología

Se planteó la supresión de la etapa de difusión del sistema difuso con lo que el modelo de sistema difuso queda como lo muestra la figura 5.

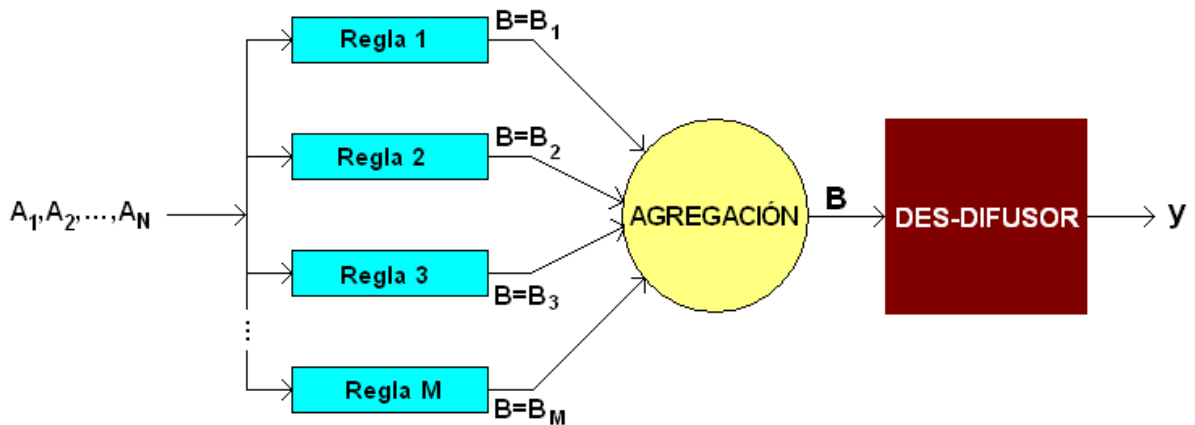


Figura 5. Sistema difuso con variables de entrada lingüísticas

La implementación se llevó a cabo asignando valores lingüísticos directamente a las variables de entrada, utilizando los números difusos triangulares de la tabla 3. La figura 6 muestra el funcionamiento del sistema.

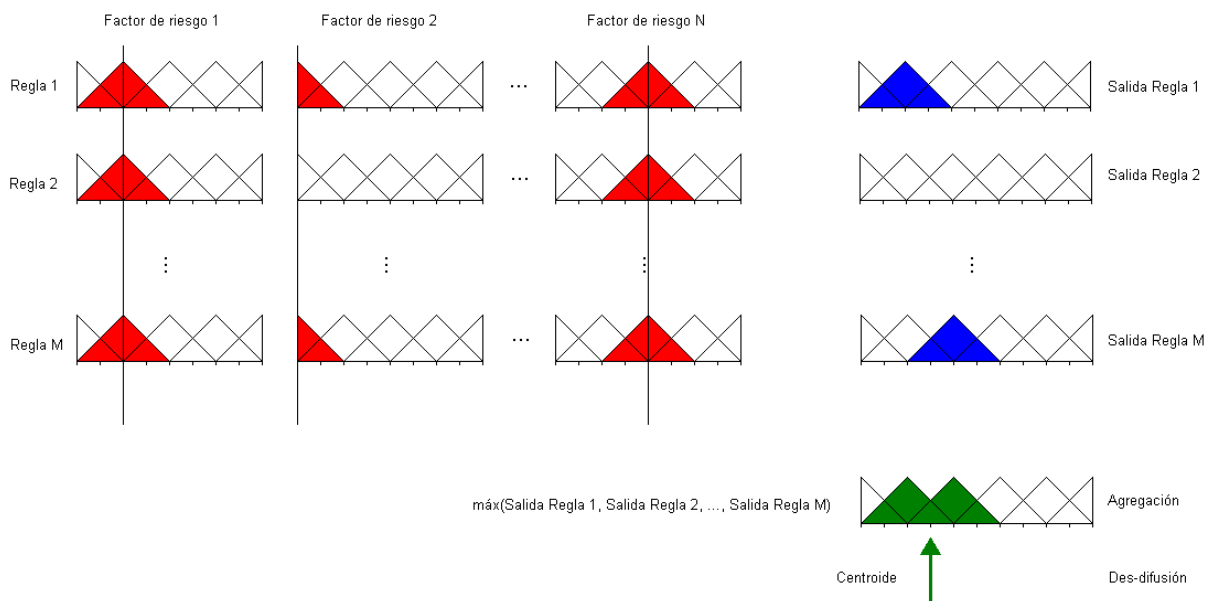


Figura 6. Sistema difuso implementado

Se detectó una jerarquía de factores de riesgos y se utilizó el cálculo de pesos de los factores de riesgo mediante FAHP para la depuración de las variables de entrada, lo que permitió desechar aquellos factores de riesgo de menor influencia en el proyecto.

Se implementó el modelo propuesto para la valoración del riesgo en proyectos de desarrollo ejecutados por una empresa del ámbito de las tecnologías de la información y de las comunicaciones.

Como variables de entrada se utilizaron, directamente, números difusos triangulares, asociados a las variables lingüísticas que se muestran en la tabla 3.



Valor lingüístico	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Número difuso triangular	(1,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,9)

Tabla 3. Valores de las variables de entrada

Los valores lingüísticos y los números difusos triangulares correspondientes a las variables de salida se muestran en la tabla 4.

Valor lingüístico	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Extremadamente Alto
Número difuso triangular	(0,0,20)	(0,20,40)	(20,40,60)	(40,60,80)	(60,80,100)	(80,100,100)

Tabla 4. Valores de las variables de salida

Se llevó a cabo la evaluación del riesgo de seis proyectos diferentes mediante tres modelos: Uno basado en sistema difuso en el que se aplicó FAHP para reducir el número de variables de entrada a 9, otro también basado en sistema difuso en el que se aplicó FAHP para reducir el número de variables de entrada a 4 y, por último, como referencia, un modelo basado en FAHP.

#### 4. Caso de Estudio

Se implementaron los tres modelos para la medición del riesgo en proyectos de desarrollo de una empresa española en el ámbito de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Se identificó una jerarquía de factores de riesgo que se adapta al tipo de proyectos desarrollados por la empresa. Los factores aparecen en la tabla 5. Se trata de una jerarquía de dos niveles: Doce factores agrupados en tres grupos de cuatro factores cada uno.

A estos factores se les aplicó el cálculo de pesos FAHP para su depuración, reduciendo el número de variables de entrada, en un caso a 9 (FIS9) y en otro caso a 4 (FIS4).

Se llevó a cabo la evaluación de un conjunto de seis proyectos, mediante los dos modelos obtenidos (FIS9 y FIS4) y mediante el modelo de referencia (FAHP).

Gente	Dirección
	Usuarios
	Equipo
	Entorno
Gestión	Planificación
	Presupuesto
	Ejecución
	Objetivos
Producto	Requisitos
	Calidad
	Evaluación
	Tecnología

Tabla 5. Factores de riesgo identificados

## 5. Resultados

La aplicación de FAHP para asignar un peso a cada uno de los factores de riesgo dio como resultado los valores normalizados mostrados en la tabla 6.

Grupo	Factor	Peso
Gente	Dirección	0,0560
	Usuarios	0,0000
	Equipo	0,1729
	Entorno	0,1729
Gestión	Planificación	0,0128
	Presupuesto	0,1023
	Ejecución	0,1844
	Objetivos	0,1023
Producto	Requisitos	0,0288
	Calidad	0,0288
	Evaluación	0,0000
	Tecnología	0,1389

Tabla 6. Resultado de pesos para los factores de riesgo, aplicando FAHP

Para la implementación del modelo FIS9 se eligieron los nueve factores más significativos (Ejecución, Equipo, Entorno, Tecnología, Presupuesto, Objetivos, Dirección, Requisitos y Calidad). Estos factores representan un 98,73 % de los pesos.

Se eligieron los cuatro factores más significativos (Ejecución, Equipo, Entorno y Tecnología) como variables de entrada del modelo FIS4. Estos factores representan un 66,91% de los pesos.

En la figura 7 aparece una gráfica de los resultados de medición del riesgo, normalizados, para los seis proyectos evaluados, obtenidos mediante los tres modelos implementados.

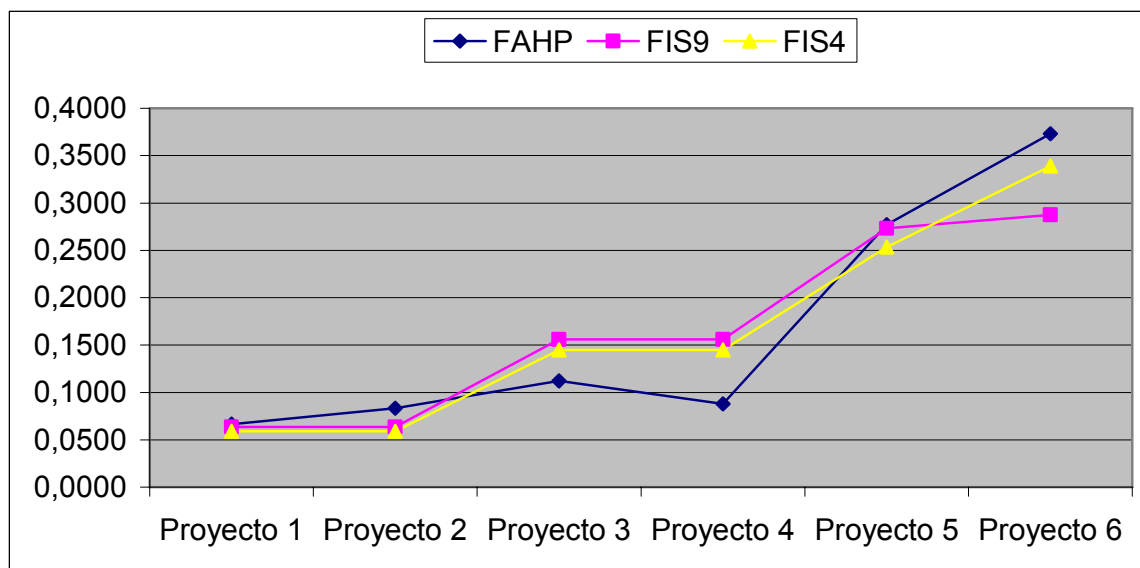


Figura 7. Valores normalizados de la evaluación del riesgo en 6 proyectos

Los resultados obtenidos con el modelo FIS9 solo variaron respecto de los obtenidos con el modelo FIS4 en la evaluación del proyecto 6. No obstante, esto hace que, para valores normalizados, aparezcan ligeras diferencias en las evaluaciones del resto de los proyectos. La evaluación del riesgo en el proyecto 6 mediante el modelo FIS4 se asemeja más a la evaluación realizada mediante el modelo de referencia.

Al agregar cinco variables más de entrada en el modelo FIS9 respecto del modelo FIS4 no mejoró la evaluación y, por el contrario, para el caso del proyecto con el más alto nivel de riesgo, según del modelo de referencia, la diferencia de dicha valoración del riesgo quedó atenuada.

## 6. Conclusiones

La lógica difusa fue utilizada en la medición del riesgo en proyectos de desarrollo ejecutados por una empresa española en el ámbito de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Se propone una modificación del método basado en sistema difuso. La metodología propuesta permite reducir los dos principales problemas de los sistemas difusos como herramientas para la medición del riesgo en proyectos, asignando valores lingüísticos a las variables de entrada mediante el uso de números difusos triangulares y disminuyendo, mediante el cálculo de pesos por FAHP, el número de variables de entrada y, por tanto, el número de reglas de inferencia necesarias.

Por otra parte, los resultados obtenidos con el método modificado propuesto se acercaron a los proporcionados por un método basado exclusivamente en FAHP.

## Referencias

- Bai, H.; Kwong, C. K. (2003) Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach.
- Bodea, Constatina Nicoleta; Dascalu, Mariana Iuliana (2009). Modeling Research Project Risk with Fuzzy Maps. *Journal of Applied Quantitative Methods*, vol. 4, n. 1. Spring, 2009.
- Chan, Felix T.S.; Kumar, Niraj (2005) Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach.
- Chapman, Chris; Ward, Stephen (2003) *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*. 2nd Edition. John Wiley and Sons.
- Cooper, Dale F.; Chris B. Chapman (1987). *Risk Analysis for Large Projects: Models, Methods, and Cases*, John Wiley and Sons.
- Cooper, Dale F.; Grey, Setphen; Raymond, Geoffrey; Walker, Phil. (2005) *Project Risk Management Guidelines. Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Coyle, Geoffrey (2004) *Practical Strategy*. Pearson Education Limited. Open Access Material. AHP. The Analytic Hierarchy Process (AHP).
- Gray, Andrew R.; MacDonell Stephen G. (1997) Applications of Fuzzy Logic to Software Metric Models for Development Effort Estimation. *The Information Science Discussion Paper Series*. University of Otago.
- Han, Sedat (2005). Estimation of Cost Overrun Risk in International Projects by Using Fuzzy Set Theory. Middle East Technical University.

Jang, J.-S. Roge; Gulley, Ned. Matlab Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. The MathWorks, Inc. (2007)

Jones, James H. (1994) Evaluating Project Risks With Linguistic Variables, Proceedings of the Fourth Annual International Symposium, National Council on Systems Engineering (NCOSE), San Jose, CA, August, 1994.

Kosko, Bart. (1997) Fuzzy Engineering. Prentice Hall International p. 48-53

McNeill, F. Martin; Thro, Ellen. (1994) Fuzzy Logic A Practical Approach. Academic Press, Inc.

Muñoz, Juan José; Sánchez, José Luis (2008). Competisoft. Mejora de Procesos Software para Pequeñas y Medianas Empresas y Proyectos. Capítulo 6. Gestión de Proyectos, p. 153. Ra-Ma.

Nurchahyo, Gunadi W. (2003) Selection of Defuzzification Method to Obtain Crisp Value for Representing Uncertain Data in a Modified Sweep Algorithm.

Olivas Varela, José Angel (2007). La lógica borrosa y sus aplicaciones. Universidad de Castilla La Mancha.

Ortega, Francisco; Roqueñi, Nieves (2003) Gestión de Coste y de Riesgo en el Proyecto, Bienio2003/2005. Universidad de Oviedo, Área de Proyectos de Ingeniería.

Parsiani Shull, Nabil D. (2006) Project Evaluation Using Fuzzy Logic and Risk Analysis Techniques. University of Puerto Rico.

Pérez Pueyo, Rosanna. (2005). Procesado y Optimización de Espectros Raman mediante Técnicas de Lógica Difusa: Aplicación a la identificación de Materiales Pictóricos. Capítulo 2. Universidad Politécnica de Cataluña.

Project Management Institute, Inc. (PMI), A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide), Fourth Edition (2008)

Slany, Wolfgang. (1996) Scheduling as a multiple criteria optimization problem. Fuzzy Sets and Systems, 78:197 222 (1996).

Saaty, Thomas L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, NY.

Van Laarhoven P.; Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Fuzzy Sets and Systems, vol. 11, pp. 229-241.

Zimmermann, H.J. (1987). Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems. Kluwer Academic Publishers.

### **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Antonio Rodríguez-Suárez

Phone: +34 91 348 91 46

+34 686 40 36 54

E-mail : [antonio.rodriquez@stl.es](mailto:antonio.rodriquez@stl.es)