Modelo para el análisis de escenarios basado en mapas cognitivos difusos: estudio de caso en *software* biomédico[1]

A model for the scenario analysis based on diffuse cognitive maps: a case study in biomedical *software*[2]

Modelo para análise de cenários baseado em mapas cognitivos difusos: estudo de caso em *software* biomédico[3]

Maikel Leyva-Vázquez[4]
Karina Pérez-Teruel[5]
Ailyn Febles-Estrada[6]
Jorge Gulín-González[7]

SICI: 0123-2126(201307)17:2<375:MAEMCD>2.0.TX;2-B

---

[1] Fecha de recepción: 20 de marzo de 2012. Fecha de aceptación: 6 de diciembre de 2012. Este artículo fue desarrollado por integrantes de la Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba.

[2] Received: March 20, 2012. Accepted: December 6, 2012. This article is developed by members of the University of Computer Sciences, Havana, Cuba.

[3] Data de recebimento: 20 de março de 2012. Data de aceitação: 6 de dezembro de 2012. Este artigo é desenvolvido por integrantes da Universidade das Ciências Informáticas, Havana, Cuba.

[4] Ingeniero en Informática del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Máster en Bioinformática, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Profesor del Centro de Tecnologías de Gestión de Datos, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba. Correo electrónico: mleyvaz@uci.cu .

[5] Ingeniera en Informática del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Máster en Bioinformática del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Profesora del Centro de Tecnologías de Gestión de Datos, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba. Correo electrónico: karinapt@uci.cu .

[6] Licenciada en Ciencias de la Computación de la Universidad de La Habana. Doctora en Ciencias Técnicas, del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Profesora de la Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba. Correo electrónico: ailyn@uci.cu.

[7] Licenciado en Ciencias Físicas de la Universidad de La Habana. Doctor en Ciencias Físicas del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Profesor de la Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba. Correo electrónico: gulinj@uci.cu.

Resumen

El análisis de escenarios es un método de planificación estratégica frecuentemente utilizado en la gestión tecnológica. La utilización de mapas cognitivos difusos con este propósito constituye un enfoque que, a pesar de ser relativamente reciente, ha recibido una creciente atención. Una de las principales dificultades de este enfoque está relacionada con la interpretación cualitativa que se le da frecuentemente a los resultados de la simulación mediante esta técnica. En el presente trabajo, se propone un nuevo modelo que utiliza los operadores media ponderada ordenada (OWA) sobre la noción de distancia para el análisis de escenarios basados en mapas cognitivos difusos. Entre las ventajas y novedades se encuentra la estructuración del proceso, la posibilidad de realizar el ordenamiento de las alternativas de forma flexible al permitir expresar el grado de aceptación de los riesgos y el nivel de compensación entre los criterios mediante el vector de pesos del operador OWA. Se presenta un ejemplo de aplicación para el análisis del caso de negocio en una organización que desarrolla *software* biomédico, con el fin de demostrar la aplicabilidad de la propuesta.

Palabras clave

Análisis de escenarios, mapas cognitivos difusos, operadores OWA, modelos causales, *software* biomédico.

Abstract

The scenario analysis is a strategic planning method frequently used in technological management. The use of diffuse cognitive maps for this purpose is an approach that, despite being relatively recent, has increasingly gained attention. One of the main difficulties of this approach is related to the qualitative interpretation that is often given to the simulation results using this technique. In this paper, we propose a new model that uses the ordered weighted average operators (OWA) on the notion of distance for the scenario analysis based on diffuse cognitive maps. Among the advantages and innovations is the structuring of the process, the possibility of sorting out the alternatives in a flexible way by allowing to express the degree of acceptance of the risks and the level of compensation among the criteria through the weight vector of the OWA operator. We present an application example for the analysis of the business case in an organization that develops biomedical software, in order to demonstrate the applicability of the proposal.

Keywords

Scenario analysis, diffuse cognitive maps, OWA operators, causal models, biomedical software.

Resumo

A análise de cenários é um método de planificação estratégica frequentemente utilizada na gestão tecnológica. A utilização de mapas cognitivos difusos com este propósito constitui um enfoque que, apesar de ser relativamente recente, já recebeu crescente atenção. Uma das principais dificuldades deste enfoque é relacionada com a interpretação qualitativa que se da frequentemente aos resultados da simulação mediante esta técnica. No presente trabalho propõe-se novo modelo que utiliza os operadores média ponderada ordenada (OWA) sobre a noção de distância para análise de cenários baseados em mapas cognitivos difusos. Entre as vantagens e inovações está a estruturação do processo, a possibilidade de realizar o ordenamento das alternativas de forma flexível permitindo expressar o grau de aceitação dos riscos e o nível de compensação entre os critérios mediante o vetor de pesos do operador OWA. Apresenta-se um exemplo de aplicação para a análise do caso de negócio em que uma organização desenvolve *software* biomédico, a fim de demonstrar a aplicabilidade da proposta.

Palavras-chave

Análise de cenários, mapas cognitivos difusos, operadores OWA, modelos causais, *software* biomédico.

1. Introducción

El análisis de escenarios contribuye a la identificación de diferentes alternativas para alcanzar un estado futuro. Es un método de planificación estratégica flexible frecuentemente utilizado en la gestión tecnológica (Salmeron, 2011); la representación del conocimiento causal ha sido empleada para construir escenarios (Jetter y Schweinfort, 2011). Una alternativa para la representación del conocimiento causal lo constituyen los mapas cognitivos difusos (MCD). Estos fueron introducidos por Kosko (1986) para el análisis de las relaciones causales utilizando la lógica difusa (Zadeh, 1965) para representar la incertidumbre en la relación.

La construcción y análisis de escenarios mediante MCD es un enfoque relativamente reciente; estos combinan los beneficios del análisis, tanto cuantitativo como cualitativo. El conocimiento del dominio proveniente de varios expertos, o de fuentes de datos, puede ser integrado y servir como una base de conocimiento colectiva. A pesar de las potencialidades que presentan los MCD para el análisis de escenarios, existen limitaciones, como la falta de soporte metodológico y las dificultades asociadas con ordenamiento de las alternativas, lo que limita su aplicabilidad (Salmeron, Vidal y Mena, 2012). Otra limitante asociada con los MCD es la dificultad para la interpretación cuantitativa de los resultados de la simulación (Glykas, 2010).

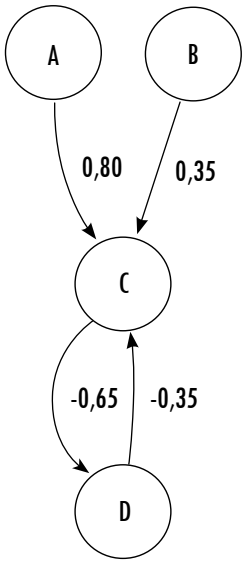
En este artículo se presenta una nueva metodología para el análisis de escenarios utilizando MCD y operadores OWA (*ordered weighted averaging*; en español, media ponderada ordenada) (Yager, 1988) sobre la noción de distancia (OWAD) (Merigó y Gil-Lafuente, 2010) para el ordenamiento de los distintos escenarios. El artículo continúa de la siguiente forma. En la sección 2 se presentan los MCD como técnica de representación del conocimiento causal en general, y su aplicación en el análisis de escenarios en particular. La sección 3 está dedicada a los operadores OWA. El modelo propuesto se introduce en la sección 4, y seguidamente en la sección 5 se presenta un estudio de caso aplicado al análisis

del caso de negocio en proyectos de *software* biomédicos. El artículo finaliza con las conclusiones y sugerencias de trabajos futuros en la sección 6.

2. Mapas cognitivos difusos

Los MCD (figura 1) son modelos difusos con retroalimentación para representar causalidad. Combinan herramientas teóricas de los mapas cognitivos, la lógica difusa, las redes neuronales, las redes semánticas, los sistemas expertos y los sistemas dinámicos no lineales (Glykas, 2010; Lin y Lee, 2002). Esta técnica permite modelar sistemas con retroalimentación, con grados difusos de causalidad en el intervalo [-1,1]. En MCD, cada nodo representa un conjunto difuso o evento que ocurre en algún grado. Los nodos son conceptos causales y pueden modelar eventos, acciones, valores, metas o procesos.

Figura 1. Mapa cognitivo difuso y su correspondiente matriz de adyacencia



	A	B	C	D
A	0	0	0,8	0
B	0	0	0,35	0
C	0	0	0	-0,65
D	0	0	0,35	0

Fuente: Presentación propia de los autores.

En el MCD existen tres posibles tipos de relaciones causales entre conceptos:

- $W_{ji} > 0$, indica una causalidad positiva entre los conceptos C_j y C_i. Es decir, el incremento (o disminución) en el valor de C_j lleva al incremento (o disminución) en el valor de C_i.

- $W_{ji} < 0$, indica una causalidad negativa entre los conceptos C_j y C_i. Es decir, el incremento (disminución) en el valor de C_j lleva a la disminución (incremento) en el valor de C_i.
- $W_{ji} = 0$, indica la no existencia de relación entre C_j y C_i.

El análisis dinámico de los MCD comienza con la determinación de un vector de estímulo (*E*), que representa el valor inicial de cada variable o concepto. De acuerdo con este vector, el MCD convergerá a un punto fijo, ciclo límite o atractor caótico. Los nuevos valores de los conceptos son calculados en cada paso de la simulación mediante la expresión:

$$A_i^{(k+1)} = f\left(A_i^{(k)} + \sum_{j \neq i, j=1}^{N} A_j^{(k)} \bullet W_{ji}\right) \tag{1}$$

Donde $A_i^{(k+1)}$ es el valor del concepto C_i en el paso k + 1 de la simulación, $A_j^{(k)}$ es el valor del concepto C_j en el paso k de la simulación, W_{ji} es el peso de la conexión que va del concepto C_j al concepto C_i, y $f(x)$ es la función de activación (Bueno y Salmeron, 2009).

Cuando participa un conjunto de expertos para la obtención de un MCD se pueden integrar los mapas individuales en un solo modelo (Kosko, 1988). Esta agregación de conocimiento permite mejorar la fiabilidad del modelo final, al hacerlo menos susceptible a creencias potencialmente erróneas de un único experto (Stach, Kurgan y Pedrycz, 2010).

2.1. Análisis de escenarios y MCD

Los escenarios describen circunstancias que pueden ocurrir en el futuro. Basados en estas perspectivas futuras, los decisores pueden explorar diferentes opciones (Banuls y Salmeron, 2007). La representación y análisis de las relaciones causales resulta imprescindible en el análisis de escenarios (Goodier, Austin, Soetanto y Dainty, 2010).

En estos, los métodos tradicionales no tienen en cuenta la interacción entre los distintos factores que conforman los escenarios ni su dinámica en el tiempo, algo que se puede representar y analizar en los MCD (Salmeron *et al.*, 2012). Otra de sus ventajas está relacionada con la posibilidad que brinda de integrar conocimiento de distintos expertos, lo cual resulta especialmente útil en la construcción de escenarios, debido a la importancia que representa integrar dichos conocimientos con modelos mentales diversos (Goodier *et al.*, 2010).

A pesar de que los MCD han sido utilizados para el análisis de escenarios (Amer, 2011; Jetter y Schweinfort, 2011; Soler, Kok, Camara y Veldkamp, 2011), persiste una serie de limitaciones. Una de ellas está relacionada con la dificultad de interpretar de forma cuantitativa los resultados de la simulación en MCD (Ping, 2009). Las propuestas existentes no tienen en cuenta aspectos importantes de la toma de decisiones, como expresar el nivel de compensación entre los criterios (Torra y Narukawa, 2007).

Giordano y Vurro (Michael Glykas, Giordano y Vurro, 2010) hacen una propuesta que se basa en el análisis de la similitud entre las acciones de los involucrados en escenarios relacionados con la mitigación de la sequía. Sin embargo, su fiabilidad está limitada, ya que el análisis del impacto de las alternativas se basa en la interpretación cualitativa de los resultados de la simulación. En lo relativo al soporte metodológico, recientemente se ha presentado un trabajo (Salmeron *et al*., 2012) que integra el método Delphi y la técnica multicriterio TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), junto con los MCD, pero no se presenta un estudio de caso real para demostrar la aplicabilidad de la propuesta. Singh (2011) presenta una propuesta, pero esta es solo aplicable para las etapas tempranas del diseño conceptual en la ingeniería de sistemas, limitando su aplicación en otros dominios.

El modelo propuesto en este trabajo permite tener en cuenta el grado de compensación entre los criterios en el análisis de escenarios basados en MCD, expresando de esta forma, además, el grado de aceptación de los riesgos por parte del decisor. La propuesta brinda un resultado cuantitativo basado en la distancia al escenario ideal, que facilita el ordenamiento de las distintas alternativas de modo flexible.

3. Operadores OWA

Los operadores OWA son un método de agregación de datos definidos por primera vez por Yager (1988). Un operador OWA es una función $F: R^n \rightarrow R$ de dimensión n si tiene un vector asociado W de dimensión n con $w_j \in [0,1]$ y $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$, de forma tal que:

$$F(a_1, a_2, ..., a_n) = \sum_{j=1}^{n} w_j b_j \tag{2}$$

Donde b_j es el j-ésimo más grande de los a_i.

Los operadores OWA sobre la noción de distancia (OWAD) (Merigó y Gil-Lafuente, 2010) son una extensión de las medidas de distancia utilizando los

operadores OWA. Una función OWAD es un operador OWA de dimensión n, si tiene un vector de ponderaciones W asociado, con $\sum_j^n w_j = 1$ y $w_j \in [0,1]$, tal que:

$$OWAD(A,B) = \sum_{j=1}^{n} w_j D_j \tag{3}$$

Donde D_j representa el j-ésimo más grande de los d_i. y d_i es la distancia individual entre A y B. Existe una gran variedad de distancias disponibles, entre las más empleadas se encuentra la de Hamming (1950):

$$d_i = |a_i - b_i| \tag{4}$$

Yager (1996) introduce una medida del grado de *orness* asociado con cualquier vector de peso, o el grado que un operador tiende hacia la condición de "or". El grado de *orness* puede ser formulado de dos formas diferentes, dependiendo del tipo de ordenamiento utilizado. Para el ordenamiento descendente:

$$orness(W) = \sum_{j=1}^{n} \frac{(n-j)w_j}{n-1} \tag{5}$$

Y para el ascendente:

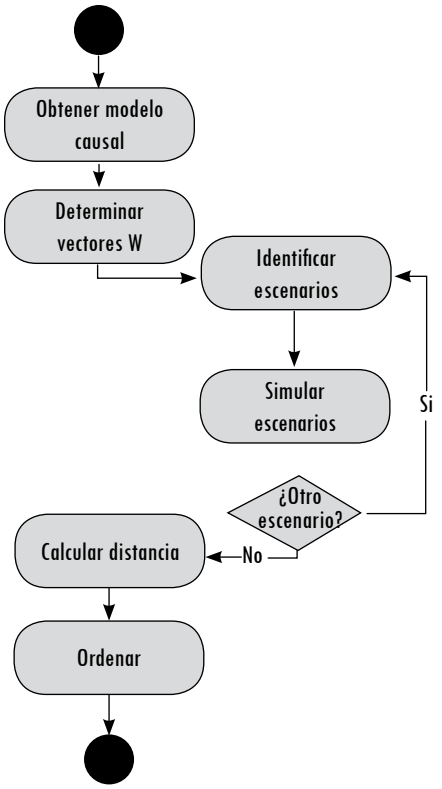
$$orness(W) = \sum_{j=1}^{n} \frac{(j-1)w_j}{n-1} \tag{6}$$

Se utiliza una u otra en dependencia del problema que se esté analizando. Se puede interpretar el grado de *orness* en términos de optimismo de la decisión tomada y el nivel de compensación entre los criterios. Basado en la definición de Yager de medida de *orness* para el operador OWA (Filev y Yager, 1998), puede ser interpretada además como el grado de aceptación de los riesgos. Un valor pequeño indica una actitud de evitar el riesgo, mientras que valores mayores indican una mayor aceptación de estos (Singh, 2011).

4. Modelo propuesto

Para el análisis de escenarios basados en MCD los autores proponen un nuevo modelo que hace uso de los operadores OWA para su evaluación. Este modelo posibilita el ordenamiento flexible de los escenarios. La propuesta se muestra gráficamente en la figura 2, donde se presenta un flujo de trabajo para el análisis de los escenarios utilizando MCD.

Figura 2. Flujo de trabajo propuesto para el análisis de escenarios



Fuente: Presentación propia de los autores.

A continuación se detallan cada una de las actividades:

1. Obtener modelo causal: se identifican las fuentes de información por incluir en el estudio. Se recomienda la participación de múltiples expertos que representen distintos puntos de vista del sistema. Se determinan los conceptos por modelar, las relaciones causales entre estos, sus pesos y signos. El peso representa la intensidad de la relación causal. Se recomienda la utilización de variables lingüísticas para obtener el peso de las relaciones causales (Ping, 2009). Cuando participa un conjunto de expertos (k), la matriz de adyacencia se formula a través de la media (Kosko, 1988; Leyva-Vázquez, Rosado-Rosello y Febles-Estrada, 2012).
2. Determinar vectores de pesos: el grado de aceptación del riesgo y la compensación son definidos mediante el vector asociado con el operador OWA. Se pueden determinar distintos vectores que representen varios niveles de compensación y aceptación del riesgo.

3. Identificar escenarios: se identifican los escenarios por analizar. Cada escenario representa alternativas plausibles que determina el decisor (Jetter y Schweinfort, 2011). Se define el vector de estímulo (*E)* para cada escenario. Este se obtiene a partir del valor inicial de cada nodo para el escenario respectivo.
4. Simular escenarios: la simulación de los distintos escenarios se realiza, y se obtiene el vector resultante (*R*) en forma de conceptos con distintos niveles de activación después de alcanzar el estado de equilibrio.
5. Calcular distancia: se determina el escenario ideal, el cual es representado mediante el vector ideal (definición 1). Se calcula la distancia mediante el operador OWAD entre el vector resultante *R* de cada simulación y el vector *I* que representa el escenario ideal.
6. Ordenar escenario: finalmente, son ordenados los escenarios. El ordenamiento ocurre de forma ascendente; así, los escenarios con un menor valor en la distancia son los de mayor prioridad.

El cálculo de la distancia al escenario ideal es la base para el ordenamiento de los escenarios. Si se parte de un conjunto de vectores resultantes R_i, i = 1,2,…, m y, siendo v_{ij} el j-ésimo elemento del valor *j* del vector resultante R_i, j = 2,3,…, n. Entonces, se denomina escenario ideal en (R^n) al escenario representado por el vector $I = (v_1^M, v_2^M, ..., v_n^m)$, donde $v_1^M = Max_1 x_{ij}$, para el caso de los nodos de tipo beneficio y $v_i^M = Min_i v_{ij}$ para el caso de los nodos tipo costo. La alternativa representada por el vector I se denomina escenario ideal.

Otras alternativas para el ordenamiento consiste en maximizar la distancia al antiideal (Amiri, Ekhtiari y Yazdani, 2011; María Socorro, 2009), o la combinación de esta con la distancia al ideal (Romero López, 1996).

5. Estudio de caso

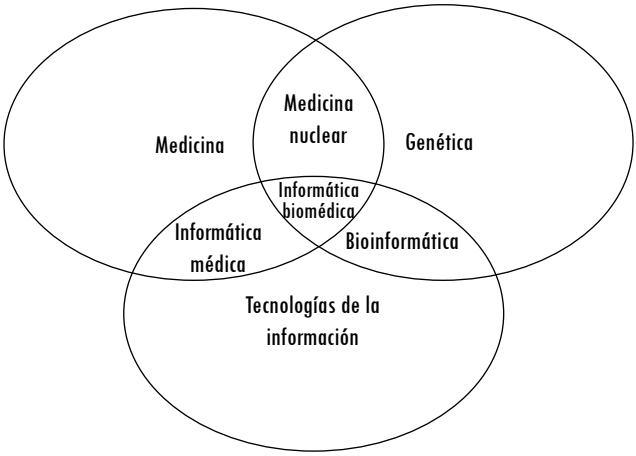
El análisis de escenarios presenta múltiples aplicaciones en la ingeniería de *software*, especialmente en la arquitectura de *software*, donde han sido empleados para evaluar el efecto de los cambios respecto a los atributos de calidad (Kazman, Abowd, Bass, & Clements, 1996). Puede ser empleado, además, para explorar las proyecciones futuras de los sistemas, y por consiguiente, para identificar y validar requisitos de *software* (Sutcliffe, Maiden, Minocha y Manuel, 1998).

El análisis del caso de negocio de los proyectos de *software* es una actividad que permite evaluar las distintas alternativas en la construcción del *software*, sus costos y beneficios. Esta es un área de especial interés en la ingeniería de *software*, específicamente para la ingeniería de *software* basada en valores (ISBV) (Biffl,

Aurum, Boehm, Erdogmus y Grünbacher, 2005), la cual considera el análisis del caso de negocio como parte del ciclo de vida de la ingeniería de *software*. Sin embargo, esta fase de los proyectos no ha sido estudiada suficientemente y las técnicas existentes presentan limitantes para lidiar con la alta incertidumbre, los beneficios no cuantificables, los riesgos y su aspecto dinámico (Boehm, 2003; Leyva y Piñero, 2010; Madachy, 2008).

El modelo fue desarrollado a partir de las experiencias de una organización de desarrollo de *software* que tiene entre sus áreas fundamentales la informática biomédica (IB). La IB surgió como resultado del acercamiento de la bioinformática y la informática médica (figura 3). Está relacionada con el desarrollo de *software* para la gestión de la información y el conocimiento biomédico (Martín-Sánchez *et al.*, 2004).

Figura 3. Informática biomédica



Fuente: Martín-Sánchez *et al.*, 2004.

Para el estudio de caso se construyó un modelo que refleja la relación entre calidad, procesos y productos (tabla 1). La identificación de los nodos se basó en un modelo semejante basado en dinámica de sistemas propuesto por Madachy (2008), y en la experiencia de los desarrolladores internos de la organización. En la elaboración de los mapas participaron nueve expertos, los cuales construyeron de manera conjunta el MCD.

La intensidad de la relación causal es especificada por los expertos mediante variables lingüísticas (García-Cascales y Lamata, 2010). Como el proceso de inferencia ocurre mediante números reales, es necesario determinar el valor causal real asociado (Ping, 2009). Los valores para el estudio de caso se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Conceptos utilizados

Nodo	Concepto	Descripción
N_1	Funcionalidades	Funcionalidades que deben ser desarrolladas en el sistema.
N_2	Esfuerzo	Esfuerzo requerido para la construcción del sistema.
N_3	Calidad del proceso	Nivel de calidad del proceso de desarrollo existente en la organización desarrolladora.
N_4	Defectos	Nivel de defectos presentes en el sistema al ser entregado al usuario final.
N_5	Calidad percibida	Grado de calidad percibida por el usuario final.
N_6	Penetración en el mercado	Grado en que el producto logra penetrar en el mercado potencial.
N_7	Costo de los procesos	Costos en el proceso de producción de *software*.
N_8	Competitividad	Grado de competitividad lograda por un producto de *software*.

Fuente: presentación propia de los autores.

La intensidad de la relación causal es especificada por los expertos mediante variables lingüísticas (García-Cascales y Lamata, 2010). Como el proceso de inferencia ocurre mediante números reales, es necesario determinar el valor causal real asociado (Ping, 2009). Los valores para el estudio de caso se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Variable lingüística y los correspondientes valores causales reales

Variable lingüística	Valor
Ninguno	0
Muy muy bajo	0,1
Muy bajo	0,2
Bajo	0,35
Medio	0,5
Fuerte	0,65
Muy fuerte	0,8
Muy muy fuerte	0,9
Uno	1

Fuente: presentación propia de los autores.

A partir de la agregación de las matrices de cada experto se obtuvo la matriz de adyacencia expuesta en la figura 3.

Cuadro 1. Matriz de adyacencia del MCD integrado

$$\begin{bmatrix} 0{,}00 & 0{,}47 & 0{,}00 & 0{,}50 & 0{,}42 & 0{,}61 & 0{,}50 & 0{,}49 \\ 0{,}35 & 0{,}00 & 0{,}60 & 0{,}53 & 0{,}56 & 0{,}35 & 0{,}56 & 0{,}21 \\ 0{,}45 & 0{,}37 & 0{,}00 & -0{,}70 & 0{,}56 & 0{,}68 & -0{,}65 & 0{,}68 \\ 0{,}55 & 0{,}54 & -0{,}71 & 0{,}00 & -0{,}80 & -0{,}73 & 0{,}57 & -0{,}74 \\ 0{,}51 & 0{,}40 & 0{,}58 & -0{,}57 & 0{,}00 & 0{,}50 & 0{,}50 & 0{,}80 \\ 0{,}48 & 0{,}35 & 0{,}71 & -0{,}53 & 0{,}71 & 0{,}00 & 0{,}15 & 0{,}87 \\ 0{,}50 & 0{,}47 & 0{,}62 & 0{,}35 & 0{,}43 & 0{,}17 & 0{,}00 & 0{,}07 \\ 0{,}58 & 0{,}20 & 0{,}53 & -0{,}70 & 0{,}63 & 0{,}58 & 0{,}42 & 0{,}00 \end{bmatrix}$$

Fuente: presentación propia de los autores.

El vector W fue ajustado para distintos valores de *orness* (ecuación 6), los cuales representan el grado de optimismo de los decisores y el grado de compensación. En la tabla 3 se presentan los distintos vectores de pesos empleados.

Tabla 3. Vectores de pesos utilizados

Vectores	Valor	*orness*
W_1	[0,125, 0,125, 0,125, 0,125, 0,125, 0,125, 0,125, 0,125]	0,5
W_2	[0,002, 0,014, 0,037, 0,072, 0,119, 0,178, 0,248, 0,330]	0,781
W_3	[0,287, 0,148, 0,120, 0,105, 0,095, 0,087, 0,082, 0,077]	0,364

Fuente: presentación propia de los autores.

Con posterioridad se determinaron en la organización las tres alternativas fundamentales, que reflejan los escenarios más frecuentes en la organización:

- Escenario 1: la construcción de un producto de *software* grande ($N_1 = 0{,}65$), con un esfuerzo bajo en el proceso de calidad ($N_3 = 0{,}35$).
- Escenario 2: un producto de *software* relativamente pequeño ($N_1 = 0{,}35$), pero con una alta inversión en cuanto a la calidad del proceso ($N_3 = 0{,}65$).
- Escenario 3: un producto mediano con un esfuerzo medio en cuanto a calidad ($N_1 = N_3 = 0{,}5$).

Los escenarios son representados mediante su correspondiente vector de entrada (tabla 4). En la simulación se emplea como función de activación para calcular los conceptos de la tangente hiperbólica con $l = 0{,}275$ (Bueno y Salmerón, 2009). En la tabla 4 se muestran, además, los vectores resultantes obtenidos de la simulación de los escenarios.

Tabla 4. Escenarios y sus respectivos vectores resultantes

Escenario	Vector de entrada	Vector resultante
S_1	[0,65, 0, 0,35, 0, 0, 0, 0, 0]	[0,286, 0,208, 0,384, -0,258, 0,421, 0,397, 0,114, 0,438]
S_2	[0,35, 0, 0,65, 0, 0, 0, 0, 0]	[0,299, 0,218, 0,4, -0,269, 0,438, 0,413, 0,119, 0,455]
S_3	[0,50, 0, 0,50, 0, 0, 0, 0, 0]	[0,293, 0,213, 0,393, -0,264, 0,430, 0,406, 0,117, 0,447]

Fuente: presentación propia de los autores.

Los nodos N_2, N_4 y N_7 fueron identificados como tipo costo, y el resto constituyen nodos tipo beneficio. El escenario ideal está representado por el siguiente vector: I = [0,299, 0,208, 0,4, -0,269, 0,438, 0,413, 0,114, 0,455]. Se realizó la agregación de las distancias mediante el operador OWAD, con los distintos vectores W. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de evaluación de los escenarios

Escenario	*orness* = 0,5	*orness* = 0,781	*orness* = 0,364
S1	0,01125	0,005521	0,013187
S2	0,001875	0,00009	0,00361
S3	0,006125	0,004725	0,006701

Fuente: presentación propia de los autores.

El ordenamiento en todos los casos es el siguiente: $S_2 > S_3 > S_1$. Los resultados arrojan que en la organización resulta más favorable mantener elevada o balanceada la inversión en calidad de los procesos sobre las posibles funcionalidades del *software*, resultados que se corresponden con lo reportado en la literatura sobre la importancia de invertir en calidad, y la baja o nula utilización de un número importante de funcionalidades incorporadas a productos de *software* (Smith y Sidky, 2009). También, coincide con las observaciones en el dominio de la informática biomédica, donde se destaca la necesidad de obtener *software* con alta satisfacción de los atributos de calidad, especialmente los relacionados con la seguridad y la fiabilidad (Martín-Sánchez, Hermosilla y Vicente, 2005; Martín-Sánchez, *et al.*, 2004). En cuanto a las principales ventajas identificadas por los participantes, estas fueron: la relativa facilidad de la técnica y la posibilidad de ser utilizado en presencia de una alta incertidumbre.

6. Conclusiones

En este trabajo se presentó un nuevo modelo para el análisis de escenarios utilizando MCD y operadores OWA sobre la noción de distancia. Se mostró, además, un estudio de caso de su aplicación en el análisis de los casos de negocio en una organización de desarrollo de *software* biomédico, para demostrar la aplicabilidad del modelo.

La propuesta presenta diversas ventajas y novedades. Entre ellas se encuentran brindar soporte metodológico al proceso de análisis de escenarios y posibilitar el ordenamiento sin ambigüedades de estos. Otro aspecto importante es la elevada flexibilidad y adaptabilidad, al permitir expresar el grado de aceptación de los riesgos y el nivel de compensación entre los criterios, por medio de la agregación mediante el operador OWAD. Las principales ventajas identificadas por los involucrados al utilizar MCD son: la relativa facilidad de la técnica y la posibilidad de ser utilizado en ambientes de alta incertidumbre.

Como trabajos futuros se propone el empleo de otros tipos de operadores de agregación y la utilización de algoritmos de búsqueda cuando el espacio de solución sea muy grande. La elaboración de una herramienta que soporte el modelo constituye otra área de trabajo.

References

AMER, M. (2011). Development of fuzzy cognitive map (FCM) based scenarios. *Paper presented at the Technology Management in the Energy Smart World (PICMET), 2011 Proceedings of PICMET '11*.

AMIRI, M.; EKHTIARI, M. y YAZDANI, M. Nadir compromise programming: A model for optimization of multi-objective portfolio problem. *Expert Systems with Applications.* 2011, vol. 38, núm. 6, pp. 7222-7226.

BANULS, V. A. y SALMERÓN, J. L. A Scenario-Based Assessment Model—SBAM. *Technological Forecasting and Social Change.* 2007, vol. 74, núm. 6, pp. 750-762.

BIFFL, S.; AURUM, A.; BOEHM, B., et al. *Value-based software engineering*. Secaucus, NJ, USA: Springer-Verlag New York Inc., 2005.

BOEHM, B. Value-based software engineering: reinventing. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes.* 2003, vol. 28, núm. 2, pp. 3.

BUENO, S. y SALMERÓN, J. L. Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps. *Expert Systems with Applications.* 2009, vol. 36, núm. 3, pp. 5221-5229.

FILEV, D. y YAGER, R. R. On the issue of obtaining OWA operator weights. *Fuzzy Sets and Systems.* 1998, vol. 94, núm. 2, pp. 157-169.

GARCIA-CASCALES, M. S. y LAMATA, M. T. Nueva aproximación al método tópsis difuso con etiquetas lingüísticas. Paper presented at the *ESTYLF 2010*.

GLYKAS, M. *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications*: Secaucus, NJ, USA: Springer Verlag, 2010.

GLYKAS, M.; GIORDANO, R. y VURRO, M. Fuzzy Cognitive Map to Support Conflict Analysis in Drought Management *Fuzzy Cognitive Maps.* 2010, vol. 247, pp. 403-425).

GOODIER, C.; AUSTIN, S.; SOETANTO, R., et al. Causal mapping and scenario building with multiple organisations. *Futures.* 2010, vol. 42, núm. 3, pp. 219-229.

HAMMING, R. W. Error detecting and error correcting codes. *Bell System technical journal.* 1950, vol. 29, núm. 2, pp. 147-160.

JETTER, A. y SCHWEINFORT, W. Building scenarios with Fuzzy Cognitive Maps: An exploratory study of solar energy. *Futures.* 2011, vol. 43, núm. 1, pp. 52-66.

KAZMAN, R.; ABOWD, G.; BASS, L., et al. Scenario-based analysis of software architecture. *Software, IEEE.* 1996, vol. 13, núm. 6, pp. 47-55.

KOSKO, B. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies.* 1986, vol. 24, núm. 1, pp. 65-75.

KOSKO, B. Hidden patterns in combined and adaptive knowledge networks. *International Journal of Approximate Reasoning.* 1988, vol. 2, núm. 4, pp. 377-393.

LEYVA-VÁZQUEZ, M. Y.; ROSADO-ROSELLO, R. Y FEBLES-ESTRADA, A. Modelado y análisis de los factores críticos de éxito de los proyectos de software mediante mapas cognitivos difusos. *Ciencias de la Información.* 2012, vol. 43, núm. 2, pp. 41-46.

LEYVA, M. y PIÑERO, P. Modelo para la evaluación y selección de proyectos de innovación en las tecnologías de la información. *Revista Virtual Pro.* 2010, vol. 01, pp.17.

LIN, C. T. Y LEE, C. S. G. Neural-network-based fuzzy logic control and decision system. *IEEE.* 2002, vol. 40, pp. 1320-1336.

MADACHY, R. J. *Software process dynamics* (1 edition ed.). Wiley-IEEE Press, 2008.

MARÍA SOCORRO, G. C. *Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y "Soft Computing".* Unpublished Tesis en opción al grado de doctor en ciencias, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena. 2009.

MARTÍN-SÁNCHEZ, F.; HERMOSILLA, I. Y VICENTE, F. Updating the BIOINFOMED Study: Recent Outstanding Developments in Biomedical Informatics. *European Journal for Biomedical Informatics.* 2005, vol. 1, pp. 6.

MARTÍN-SANCHEZ, F.; IAKOVIDIS, I.; NØRAGER, S., et al. Synergy between medical informatics and bioinformatics: facilitating genomic medicine for future health care. *Journal of Biomedical Informatics.* 2004, vol. 37, núm. 1, pp. 30-42.

MERIGÓ, J. M., y GIL-LAFUENTE, A. M. New decision-making techniques and their application in the selection of financial products. *Information Sciences.* 2010, vol.180, núm. 11, pp. 2085-2094.

PING, C. W. *A Methodology for Constructing Causal Knowledge Model from Fuzzy Cognitive Map to Bayesian Belief Network.* Unpublished PhD Thesis, Chonnam National University. 2009.

ROMERO LÓPEZ, C. *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid: Isdefe, 1996.

SALMERON, J. L. Forecasting Risk Impact on ERP Maintenance with Augmented Fuzzy Cognitive Maps. *IEEE Transactions on Software Engineering.* 2011, vol. 99 (PrePrints).

SALMERON, J. L., VIDAL, R. y MENA, A. Ranking fuzzy cognitive map based scenarios with TOPSIS. *Expert Systems with Applications.* 2012, vol. 39, núm. 3, pp. 2443-2450.

SINGH, A. *Architecture value mapping: using fuzzy cognitive maps as a reasoning mechanism for multi-criteria conceptual design evaluation.* Unpublished PhD Thesis, Missouri University of Science and Technology, Missouri. 2011.

SMITH, G. y SIDKY, A. *Becoming agile: ...in an imperfect world*. Greenwich: Manning, 2009.

SOLER, L. S.; KOK, K.; CAMARA, G., et al. Using fuzzy cognitive maps to describe current system dynamics and develop land cover scenarios: a case study in the Brazilian Amazon. *Journal of Land Use Science.* 2011, pp. 1-27.

STACH, W.; KURGAN, L. y PEDRYCZ, W. Expert-Based and Computational Methods for Developing Fuzzy Cognitive Maps. In M. Glykas (Ed.), *Fuzzy Cognitive Maps* (pp. 23-41). Berlin: Springer, 2010.

SUTCLIFFE, A. G.; MAIDEN, N. A. M.; MINOCHA, S., et al. Supporting scenario-based requirements engineering. *Software Engineering, IEEE Transactions on.* 1998, vol. 24, núm. 12, pp. 1072-1088.

TORRA, V. y NARUKAWA, Y. *Modeling decisions: information fusion and aggregation operators*: Springer, 2007.

YAGER, R. R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on.* 1988, vol. 18, núm. 1, pp. 183-190.

YAGER, R. R. Quantifier guided aggregation using OWA operators. *International Journal of Intelligent Systems.* 1996, vol.11, núm. 1, pp. 49-73.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and Control.* 1965, vol. 8, núm. 3, pp. 338-353.