

Mapas cognitivos difusos para la selección de proyectos de tecnologías de la información

Fecha de recepción: 05.03.2012

Fecha de aceptación: 21.05.2012

Maikel Y. Leyva Vázquez
Universidad de las Ciencias
Informáticas
mleyvaz@uci.cu

Karina Pérez Teruel
Universidad de las Ciencias
Informáticas
karinapt@uci.cu

Ailyn Febles Estrada
Universidad de las Ciencias
Informáticas
ailyn@uci.cu

Jorge Gulín González
Universidad de las Ciencias
Informáticas
gulinj@uci.cu

Resumen

En el campo de la informática administrativa resulta de gran importancia evaluar los sistemas de información que le darán soporte a los procesos y las metas. Para lograr la alineación de estos sistemas, que formarán parte del portafolio de proyectos de tecnologías de la información de la organización con estrategias, es necesario modelar y analizar los procesos y las metas a los que se les darán soporte. En este artículo se presenta un modelo para la selección de proyectos de tecnologías de la información basado en el análisis de la arquitectura empresarial a partir del modelado empresarial, el cual se apoya en el modelado de las relaciones causales existentes entre los distintos elementos de la organización empleando mapas cognitivos difusos. Este enfoque facilita la evaluación y selección de proyectos con vistas a alcanzar el estado objetivo de la arquitectura empresarial. El modelo propuesto brinda una alternativa o complemento a los métodos existentes de evaluación de proyectos de tecnologías de la información; para ejemplificar lo anterior se muestra un caso de estudio que describe la aplicación del modelo a una organización de servicios profesionales para planificar la trasformación de la arquitectura empresarial de la organización.

Palabras clave: portafolio de proyectos, mapas cognitivos difusos, selección de proyectos, modelado empresarial, arquitectura empresarial.

Fuzzy cognitive maps for the selection of IT projects

Abstract

The evaluation and selection of information technology projects is one of the most complex decision-making processes. To achieve alignment between projects and strategy is very important to analyze the goals and processes inside the organization. This paper presents a model for the selection of IT projects, based on the analysis of enterprise architecture. The proposal makes use of causal relations modelling using fuzzy cognitive maps. This approach facilitates the evaluation and selection of a project portfolio in order to achieve the desired future state of enterprise architecture. The model represents an attractive alternative or complement to existing methods in the evaluation of IT initiatives. A case study showing the application of the model to a professional services organization for the transformation of the enterprise architecture is shown.

Keywords: project portfolio, fuzzy cognitive maps, project selection, enterprise modelling, enterprise architecture.

Introducción

El Project Management Institute (PMI, por sus siglas en inglés) define portafolio de proyectos como: “un conjunto de proyectos, programas y otros trabajos que son agrupados para facilitar la gestión efectiva de aquel trabajo para atender a objetivos estratégicos específicos.” (PMI, 2008). La concepción más extendida es que la gestión de portafolio de proyectos actúa en dos frentes: selecciona los proyectos que deben ser ejecutados; y, posteriormente, evalúa si estos proyectos siguen viables y adherentes a los criterios por los cuales fueran aprobados (SOFTEX, 2009). La gestión del portafolio de proyectos es considerada además como una de las actividades claves dentro de la gestión de la innovación (Stantchev, Franke y Discher, 2010).

Uno de los problemas fundamentales en el proceso de gestión del portafolio de proyectos de tecnologías de la información, que aún persiste, es la falta de alineamiento entre el negocio y los sistemas de información (Cameron, 2009) debido a que muchas veces no se tiene idea en el proceso de selección del portafolio de proyectos de cómo éstos soportan las metas del negocio y los procesos (Kardaras y Karakostas, 2009). Por esta razón, es importante modelar y analizar las metas y los procesos, junto a las distintas interrelaciones existentes en la organización, e integrarlo en el proceso de selección de proyectos.

A partir del modelado empresarial (ME) se pueden obtener modelos causales que representan las distintas interrelaciones entre los elementos de las organizaciones. Al respecto, se han presentado varias propuestas haciendo uso de redes bayesianas (Franke, Johnson, König y Marcks von Würtemberg, 2011; Johnson, Lagerström, Närman y Simonsson, 2007; Närman, Johnson, Ekstedt, Chenine y König, 2009). Sin embargo para determinar estas relaciones generalmente no se cuenta con información estadística, ni se puede expresar de modo probabilístico, como lo requieren las redes bayesianas, especialmente cuando se introduce el modelado de las metas de la organización. Una alternativa para el modelado causal en estas circunstancias son los mapas cognitivos difusos (MCD) (Kosko, 1986).

El problema que se enfrenta en este trabajo se relaciona con la necesidad de contar con herramientas que, apoyadas en los modelos que describen la arquitectura de las organizaciones y mediante un tratamiento cualitativo y cuantitativo, permitan facilitar la selección de proyectos de tecnologías de la información. Para dar respuesta al mismo se propone la utilización combinada de modelado empresarial y los MCD. Con este fin se presenta un modelo para analizar las metas de la organización, los procesos y las opciones de sistemas de información a través de MCD, con lo cual se pretende facilitar la evaluación y selección del portafolio de proyectos de tecnologías de la información para alcanzar el estado objetivo de la arquitectura empresarial, alineando las iniciativas a los objetivos de la organización. Asimismo, se analiza un caso de aplicación a una organización de servicios profesionales en el campo del desarrollo del *software*.

Para cumplir con el objetivo propuesto, este artículo se organiza de la siguiente manera: en la siguiente sección se presenta el marco teórico relacionado con la gestión de portafolio de proyectos, la arquitectura empresarial, el modelado empresarial y los MCD; más adelante se define el modelo para la selección de los proyectos de tecnología de la información; a continuación se describe la aplicación práctica del modelo a un caso de estudio; finalmente, se exponen las conclusiones y trabajos futuros.

Marco teórico

Gestión de portafolio de proyectos

Los fundamentos de la gestión de portafolios de proyectos, que se desarrollaron desde la década de los setenta, tuvieron sus raíces en la teoría del premio nobel

Harry Markowitz; sin embargo, se señala que la gestión de portafolio de proyectos presenta diferencias significativas en cuanto a las teorías originales de Markowitz (Bonham, 2005; Kersten y Verhoef, 2003; Verhoef, 2002).

Una de las metas de la gestión del portafolio es maximizar su valor evaluando con cuidado los proyectos y programas candidatos que se incluirán, así como la exclusión oportuna de proyectos que no cumplen con los objetivos estratégicos del portafolio (PMI, 2004). La gestión de portafolios de proyectos, estratégica por naturaleza, se relaciona más con la eficacia que con la eficiencia; además, debe habilitar un marco de trabajo para la evaluación de las decisiones de invertir, mantener y retirar (Betz, 2007). Por su parte, la gestión de portafolio de tecnologías de la información (TI) es básicamente un proceso de selección que ubica recursos para desarrollar/mantener aquellos proyectos que se encuentren mejor alineados con los objetivos estratégicos (Zhou, 2007). Una tendencia relativamente reciente en el área de las tecnologías de la información es la ingeniería de software basada en valores (ISBV) (Biffl *et al.*, 2005), la cual considera como parte del ciclo de vida de la ingeniería de software actividades de gestión tales como desarrollo del caso de negocio, evaluación del proyecto, planificación del proyecto, gestión del portafolio de proyecto, etcétera; dichas actividades —hasta el momento— han sido consideradas periféricas. La ISBV pretende orientar las propuestas y soluciones basándose en la maximización del valor aportado; cualquier decisión de construcción (o reinserción) de un sistema software debería estar guiada por su “valor”. De este modo, un sistema aporta más “valor” a sus usuarios si proporciona mayores beneficios, ya sea en términos de retorno de inversión (ROI), beneficios sociales, disminución en los costos de gestión, ventajas estratégicas o cualquier otro aspecto; estos elementos resultan muy difíciles de cuantificar (Erdogmus, Favaro y Halling, 2006).

Los procesos de gestión de portafolio generalmente han sido ignorados en los principales modelos de mejoras de procesos de software a excepción del modelo brasileño (MPS), que lo incluyó en la nueva versión de 2009, basado en la norma ISO/IEC 12207 (Santos *et al.*, 2010). Presenta como propósito garantizar que las empresas analicen su portafolio de proyectos para iniciar y mantener los proyectos necesarios, suficientes y adecuados para satisfacer los objetivos estratégicos de la organización (Santos, Weber y da Rocha, 2009).

Un aspecto importante es el análisis del portafolio para la selección de los proyectos que lo conformarán. Bonham (2005) propone un modelo para la selección de proyectos basado en tres fases: análisis estratégico, análisis individual de los

proyectos (maximización) y selección de portafolio (balance); además, señala la importancia de analizar la interdependencia entre los proyectos.

Los proyectos de tecnología de la información presentan características particulares que dificultan la selección de los proyectos (Parés, 2008). En el caso del portafolio de proyectos de software, uno de los aspectos relevantes es el elevado número de sinergias/conflictos que se pueden presentar (Maikel y Pedro, 2009). Wibowo (2008) señala como limitaciones de los enfoques existentes:

- La incapacidad para lidiar con la subjetividad y la imprecisión de los procesos de evaluación y selección de proyectos de sistemas de información.
- Dificultad para manejar adecuadamente la naturaleza multidimensional del problema.
- Muy demandante cognitivamente para el decisor.

El proceso de selección de proyectos —en general— y de proyectos de *software* —en particular— es un proceso de selección muy complejo afectado por múltiples factores. La priorización de las inversiones es un aspecto clave para el gobierno de las tecnologías de la información. Los proyectos deben ser evaluados como inversiones teniendo como objetivo analizar la capacidad del proyecto de maximizar el valor de la organización (Deek, McHugh y Eljabiri, 2005). La mayor diferencia en los modelos de proyectos de tecnologías de la información y los de investigación y desarrollo (R&D, por sus siglas en inglés) es la elevada importancia que tiene en los primeros la interdependencia entre los proyectos (Graves, Ringuest y Medaglia, 2003).

Los métodos actuales presentan serias limitantes para modelar y analizar esas interdependencias entre proyectos y los distintos elementos que conforman la organización de manera tal que su análisis forme parte del proceso de toma de decisiones. Estas interdependencias frecuentemente se pueden calificar con expresiones lingüísticas y no numéricas, por lo cual es necesario el desarrollo de herramientas que permitan el análisis de estos sistemas donde se describe la realidad en términos cualitativos.

Modelado empresarial y mapas cognitivos difusos

La arquitectura empresarial (AE) relaciona las metas de la organización, las funciones, los procesos, las personas, los sistemas y la infraestructura para alcanzar

esas metas (Lankhorst y Quartel, 2010). Los distintos modelos de AE respaldan el uso de modelos para la toma de decisiones (Johnson, Johansson, Sommestad y Ullberg, 2007). Han surgido distintos marcos de trabajo para la AE destacándose el de Zachman (1987) y TOGAF (The Open Group, 2008).

El modelado empresarial (ME) constituye un tópico central en la AE. Los primeros enfoques al ME se orientan al desarrollo de *software*, pero recientemente han sido más ampliamente utilizados (Krogstie, 2007) en inteligencia de negocios (Bommel *et al.*, 2010), transformación organizacional (Barone *et al.*, 2010; Bommel, *et al.*, 2010) y gestión del conocimiento (Gudas, 2009). Sin embargo, aún no se explotan adecuadamente las potencialidades del ME para la toma de decisiones en las organizaciones. Una limitación que presentan estos modelos es la dificultad en cuantificar las relaciones existentes entre los elementos que los conforman.

El modelado causal resulta útil para entender el proceso de toma de decisiones (Hagmayer y Sloman, 2005). La causalidad se ve generalmente como una relación precisa: la misma causa provoca siempre el mismo efecto. Pero en el mundo cotidiano, los enlaces entre causa y efecto son frecuentemente imprecisos o imperfectos por naturaleza (Puente, Olivas y Sobrino, 2010). En muchos problemas resulta imposible expresar las probabilidades de modo exacto para representar la causalidad (Sobrino, 2012). Una opción ante este escenario resulta representar el grado de influencia entre un concepto y otro mediante lógica difusa haciendo uso de los MCD (White y Mazlack, 2011).

Los MCD, que 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; Mazlack, 2009).

Los MCD, que fueron ideados por Kosko (1986) como una extensión de los mapas cognitivos (Axelrod, 1976), constituyen una estructura de grafo difuso utilizado para representar razonamiento causal; su aplicación resulta recomendable para los dominios donde los conceptos y las relaciones son fundamentalmente difusos como la política, la historia, la planificación estratégica, etcétera.

Esta técnica permite modelar el sistema con retroalimentación. En el diagrama cada nodo representa un conjunto difuso o evento que ocurre en algún grado. Cabe aclarar que los nodos son conceptos causales y pueden modelar eventos, acciones,

valores, metas o procesos. Con la utilización de esta técnica se obtienen además los beneficios de modelado visual, la simulación y la predicción (Salmeron, 2009).

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

- $W_{ij} > 0$, indica una causalidad positiva entre los conceptos C_i y C_j ; es decir, el incremento (o disminución) en el valor de C_i lleva al incremento (o disminución) en el valor de C_j .
- $W_{ij} < 0$, indica una causalidad negativa entre los conceptos C_i y C_j ; es decir, el incremento (disminución) en el valor de C_i lleva la disminución (incremento) en el valor de C_j .
- $W_{ij} = 0$, indica la no existencia de relación entre C_i y C_j .

Un MCD puede ser representado a través de un grafo dirigido en el cual los nodos representan conceptos y los arcos indican relación causal. La intensidad de la relación causal es representada mediante valores difusos (Peña, Sossa y Gutiérrez, 2007). Una matriz de adyacencia A es empleada para representar la conectividad existente entre los nodos (Salmeron, Vidal y Mena, 2011).

La simulación ocurre mediante la definición de un vector inicial de estímulos (\vec{X}^0) y la posterior inferencia en el MCD. El vector de estado \vec{X}^{t+1} en el instante de tiempo $t + 1$ es calculado de la siguiente forma:

$$\vec{X}^{t+1} = f(\vec{X}^t \cdot A + \vec{X}^t) \quad (1)$$

donde $f(x)$ es la función de activación. Las funciones de activación más empleadas son la sigmoide y la tangente hiperbólica (Salmeron y López, 2012). La simulación se realiza hasta que el MCD llegue a un punto fijo, a un ciclo de límite o atractor caótico en dependencia del vector inicial.

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 y López, 2012). En el análisis de escenarios Los métodos tradicionales no tienen en cuenta la interacción entre los distintos factores que conforman los escenarios ni su dinámica en el tiempo (Salmeron *et al.*, 2011). A pesar de que los MCD han sido utilizados para el análisis de escenarios (Amer, 2011; Soler *et al.*, 2011) faltan metodologías y herramientas que permitan un mejor análisis cuantitativo de los escenarios generados.

Los MCD han sido aplicados a una serie de dominios y áreas entre los cuales podemos destacar la toma de decisiones en la medicina (Georgopoulos y Stylios, 2005; Stylios y Georgopoulos, 2008), análisis de los fallos en la calidad del agua (Sadiq, Kleiner y Rajani, 2006), formulación de la estrategia financiera (Xirogiannis, Glykas y Staikouras, 2010) y la visión artificial (Pajares *et al.*, 2010) entre otros. Se han propuesto extensiones para su aplicación en el campo de las decisiones multi-criterio denominándolo mapas de decisión difusos (Yu y Tzeng, 2006).

En el área de la gestión de las tecnologías de la información se destacan la simulación de proyectos de desarrollo de *software* (Stach y Kurgan, 2004) y el análisis de riesgos en el mantenimiento de los ERP (Salmeron y López, 2012). Salmeron (2009) propone el uso de MCD para la selección de proyectos de tecnologías de la información, pero en su propuesta no se analiza la vinculación con las metas de la organización. Por su parte, Kardaras y Karakostas (2009) proponen el empleo de MCD para la integración de la planificación estratégica de los sistemas de información y los procesos, pero no se representa ni analizan las posibles opciones de proyectos. A pesar de estas aplicaciones de los MCD para la selección de los proyectos de tecnologías de la información no se ha vinculado con los modelos de la organización que se obtienen al describir la arquitectura empresarial mediante las actividades del modelado empresarial.

Modelo propuesto

En el cuadro se propone un modelo que integra ME y los MCD con el propósito de brindar sugerencias a los decisores en relación con el portafolio de proyectos; dicho modelo está compuesto de tres actividades fundamentales: modelado empresarial, construcción del MCD y análisis de los escenarios.

Cuadro 1
Actividades del modelo



El modelo tiene como objetivo fundamental analizar las opciones de proyectos para determinar, de los distintos escenarios, en qué grado éstos contribuyen al logro de un estado deseado y brindar sugerencias en este sentido. A continuación se describen las actividades que componen el modelo propuesto.

Actividad 1. Modelado empresarial

Esta actividad se inicia determinando las metas estratégicas. Éste es el nivel estratégico al cual deben responder los sistemas de información que se definen como parte de la hoja de ruta de proyectos. En el contexto de las organizaciones, las metas constituyen una buena base para determinar la relación entre los objetivos del negocio y los requisitos del sistema de información por desarrollar. Las metas del negocio definen el por qué de los sistemas (Quartel *et al.*, 2009). Asimismo, se identifican los procesos y subprocesos que se desean abordar dentro del área de la organización que se desea analizar. Se determinan los atributos de interés en cada proceso.

Posteriormente, se identifican las opciones de proyectos para soportar las metas y los procesos identificados; se obtiene un modelo de la organización que contiene los escenarios por analizar. Achimate (Iacob *et al.*, 2009) es el lenguaje de modelado organizacional sugerido para representar la arquitectura empresarial (AE) por su simplicidad, poder de expresión y soporte de herramientas. Este lenguaje carece de estructuras para representar las metas, para este fin se propone emplear el concepto *business object*.

Actividad 2. Construir mapas cognitivos difusos

En esta actividad se obtienen los mapas cognitivos difusos (MCD), que representan las relaciones entre los elementos del sistema contenido en el modelo concreto. Luego de determinar las relaciones causales se obtiene el peso y signo de estas relaciones. En esta actividad se agregan los conocimientos procedentes de diversas fuentes en un MCD. Cuando participan un conjunto de expertos (k), la matriz de adyacencia se formula mediante la siguiente expresión (Kosko, 1988):

$$A = \frac{1}{k} (A_1 + A_2 + \dots + A_k) \quad (2)$$

Esta agregación de conocimiento permite mejorar la fiabilidad del modelo final, el cual es menos susceptible a creencias potencialmente erróneas de un único experto (Stach, Kurgan y Pedrycz, 2010).

Actividad 3. Análisis de los escenarios

Se determina para cada escenario los vectores de estímulo \vec{V}_e asociados que representan los proyectos de sistemas de información que entrarían en explotación. Los valores incluidos en los vectores de estímulo representan la activación inicial de los distintos nodos del modelo (proyectos en este caso), 1 si está presente, 0 si está ausente. Se debe tener en cuenta además la restricción de recursos de la organización que pueden ocasionar que en un periodo de tiempo no se puedan ejecutar todos los proyectos.

Se determina el vector que representa el escenario ideal \vec{V}_i que estará constituido por el valor ideal para cada uno de los nodos del MCD. En este caso el valor del ideal es 1 para los criterios tipo beneficio y -1 para los de tipo costo. Éstos son los valores máximos y mínimos, respectivamente, que permiten las funciones de activación para los MCD. El vector ideal se determina entonces de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\vec{V}_i = & \{ (v_j = 1 | j \in I^+), (v_j = -1 | j \in I^-), (v_j = 0 | j \in O) \} \\ & = [v_1, v_2, \dots, v_n]\end{aligned}\quad (3)$$

donde I^+ e I^- son los grupos de nodos tipo beneficio y costo respectivamente y O constituye las opciones de sistemas de información.

Con posterioridad se simulan los distintos escenarios generados. Este proceso se realiza a partir de los vectores de estímulo definidos (\vec{V}_e) para cada escenario. Durante el proceso se realizan inferencias que estiman la variación del estado de los nodos obteniéndose un vector resultante (\vec{V}_r) de la simulación.

Para sugerir las mejores opciones de portafolio a los decisores se emplea el concepto de similitud. La mejor solución será aquella con un valor mayor de similitud al vector ideal. Siendo d_i la distancia entre el los elementos i^{th} vector ideal (\vec{V}_i) y el vector resultante de la simulación (V_r) definido como:

$$d_i = |X_1(\vec{V}_l) - X_1(\vec{V}_r)| \quad (4)$$

PR es el promedio de la distancia euclíadiana entre los elementos individuales de los vectores V_l y V_r

$$PR = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{m} \quad (5)$$

La similitud S es dada por la ecuación

$$S = 1 - PR \quad (6)$$

A partir de este valor se evalúan los escenarios, logrando una interpretación cuantitativa de los mismos en el MCD, una de sus limitaciones fundamentales relacionadas con el análisis de los resultados de la simulación (Giordano y Vurro, 2010).

Estudio de caso

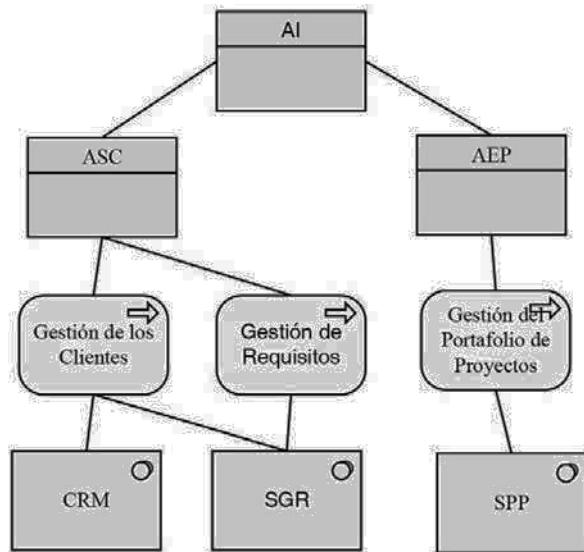
A continuación, para ilustrar la aplicación práctica del modelo, se muestra un caso de estudio aplicado a una organización de desarrollo de *software* de reciente creación enclavada en la Universidad de las Ciencias Informáticas en Cuba. Tiene entre sus funciones la entrega de servicios profesionales relacionados con las tecnologías de la información. Se consideró prioritaria la implantación de sistemas de información que permitan dar respuestas a las necesidades informativas de la organización. El caso de estudio se realizó durante la planificación de la AE para el año 2012.

Para llevar a cabo lo anterior, se seleccionaron los especialistas de la organización teniendo como criterios fundamentales el conocimiento de las metas y procesos de la organización, así como de los principales sistemas de información. Considerando estos criterios se seleccionó un conjunto de ocho profesionales incluyendo tres miembros de la alta gerencia de la organización.

A partir del trabajo de estos especialistas se determinaron como metas fundamentales: aumentar los ingresos (AI) apoyado por las metas, aumentar la satisfacción de los clientes (ASC) y aumentar efectividad de los proyectos (AEP). Los procesos fundamentales que soportan estas metas son la gestión de los clientes (GC), gestión de requisitos (GR) y la gestión del portafolio de proyectos (GP). Como los principales atributos de estos procesos se identificaron tiempo y costo.

Como posibles proyectos por emprender se determinaron: un sistema para la gestión de las relaciones con los clientes (CRM, por sus siglas en inglés), un sistema para la gestión de requisitos (SGR) y un sistema para la gestión del portafolio de proyectos (GPP). Las relaciones entre ellos, en el marco de la AE de la organización, se muestran en el figura 1.

Figura 1
Arquitectura empresarial



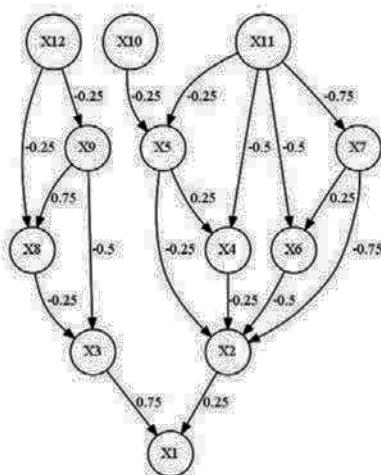
A partir de la información anterior se determinaron los nodos del MCD. Éstos representan las metas estratégicas, los atributos de los procesos y los proyectos (cuadro 2).

Cuadro 2
Nodos del MCD

Nodos	Descripción
X₁	AI
X₂	ASC
X₃	AEP
X₄	Costo GC
X₅	Tiempo GC
X₆	Costo GR
X₇	Tiempo GR
X₈	Costo GP
X₉	Tiempo GP
X₁₀	CRM
X₁₁	SGR
X₁₂	SPP

Los especialistas del dominio determinaron la dirección y peso de cada arco. La integración de los conocimientos de los expertos arrojó como resultado el MCD de la organización. El mapa representado en forma de grafo dirigido se muestra en el figura 2.

Figura 2
Mapa cognitivo difuso obtenido



En el MCD obtenido están representadas las relaciones causales tanto negativas como positivas. Se destacan las relaciones causales negativas existentes entre los sistemas de información y los atributos tiempo y costo de los procesos. La implantación de los sistemas impactará con una disminución en el costo y tiempo de los procesos en distinta medida en cada uno de ellos. Otras relaciones negativas existen entre los nodos que representan los atributos de los procesos y las metas de la organización. Cualquier disminución en el costo y el tiempo de los procesos redundará en el logro de las metas de la organización. Las relaciones causales con signo positivo se encuentran fundamentalmente entre el tiempo y el costo de los procesos. Un aumento del tiempo de los procesos representa un aumento del costo de los mismos; existen, además, relaciones positivas entre las metas de la organización, representando la sinergia existente entre éstas.

Como vector ideal se determinó $\vec{V}_i = [1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, 0, 0, 0]$. Para la simulación se utiliza como función de activación la tangente hiperbólica:

$$F(x) = \tanh(\lambda X); \lambda = 5, \quad (7)$$

Esta función permite, entre otras ventajas, que los nodos alcancen valores negativos (Bueno y Salmeron, 2009).

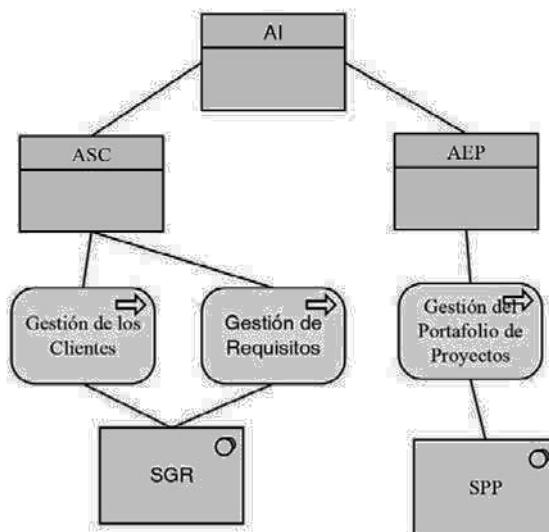
Los escenarios se constituyen a partir de las posibles combinaciones de proyectos que se podrán emprender en la organización. El escenario 1 (S_1), el cual describe el caso en que el proyecto relacionado con el CRM se ejecute, está representado por el vector de estímulos $\vec{V}_e = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0]$. En el periodo analizado existe la restricción que no se podrá invertir en más de dos sistemas. El cuadro 3 muestra los nueve escenarios junto al vector de estímulo que los representa. El vector resultante se obtiene de la simulación del MCD utilizando el vector de estímulos. El valor de la similitud del vector resultante con el escenario ideal es calculado según (6).

Cuadro 3
Escenarios analizados

Escenario	Vector de estímulo	Vector resultante	Similitud
S ₁	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1]	[1,1,1,0,0,0,0,-1,-1,0,0,1]	0.35
S ₂	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0]	[1,1,1,-1,-1,-1,-1,0,0,1,0]	0.5
S ₃	[0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1]	[1,1,1,-1,-1,-1,-1,-1,1,0,1,1]	0.59
S ₄	[0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0]	[1,1,1,-1,0,0,0,0,1,0,0]	0.29
S ₅	[0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1]	[1,1,1,-1,0,0,0,-1,-1,1,0,1]	0.35
S ₆	[0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,0]	[1,1,1,-1,-1,-1,-1,1,0,0,1,1,0]	0.42

A partir de los valores de similitud, los escenarios analizados son ordenados de la siguiente forma: $S_3 > S_2 > S_6 > S_5 = S_1 > S_4$. De acuerdo con los resultados, el escenario 3 (S_3) presenta un mayor nivel de similitud con respecto al vector ideal y, por lo tanto, más adecuado para invertir. Este escenario correspondería al despliegue del sistema para la gestión de requisitos y el sistema para la gestión de portafolio de proyectos. Este estado objetivo de la AE para el periodo de tiempo analizado es representado en el cuadro 4.

Cuadro 4
Arquitectura empresarial seleccionada



En este caso no se sugiere la inclusión del despliegue de CRM, por no encontrarse dentro de los sistemas de información incluidos en el escenario más deseable. La combinación del SGR y el SPP representan una mejor alternativa para la organización dada la restricción de limitar el despliegue a dos sistemas.

Conclusiones

En el presente trabajo se definió un modelo para selección de proyectos de tecnologías de la información. En el mismo se modela la arquitectura empresarial y se obtiene el mapa cognitivo difuso (MCD) que la representa. Posteriormente se simulan y analizan los distintos escenarios. El modelo propuesto puede extenderse con facilidad a otras áreas relacionadas con la toma de decisiones en las organizaciones; asimismo, brinda soporte a una de las actividades más demandantes en la administración de empresas: la selección de proyectos de tecnologías de la información. En el modelo se combinan elementos de la arquitectura empresarial, el modelado empresarial y el modelado causal para lograr un mejor análisis de las interdependencias en la organización; además, cómo los sistemas de información que brindan soporte a los procesos y objetivos de la entidad. Se sugiere el modelo fundamentalmente como alternativa o complemento de otros métodos de análisis de las inversiones existentes.

Para la informática administrativa presenta una gran importancia evaluar los sistemas de información que le darán soporte a los procesos y las metas. La propuesta presentada va encaminada a integrar el ME con la evaluación y selección del portafolio de proyectos de tecnologías de la información.

El estudio de caso que se presenta demostró la factibilidad del procedimiento. El modelo propuesto posibilitó a la organización un ordenamiento de los escenarios permitiendo analizar el posible portafolio de proyectos de tecnologías de la información en una entidad. Una de las principales ventajas identificadas por los involucrados de utilizar MCD es la relativa facilidad de la técnica y la posibilidad de ser obtenida por expertos, ser fácilmente interpretado y poder ser utilizado en presencia de una alta incertidumbre.

La utilización de un vector ideal y la métrica de similitud permiten vencer una de sus limitaciones fundamentales relacionada con la interpretación de los resultados en los MCD en función de lograr la interpretación cualitativa de la simulación.

Como trabajos futuros de investigación se encuentra la vinculación con métodos de análisis multicriterio y operadores de agregación. Otra área de trabajo es hacia la inclusión del modelado y análisis de los atributos de los sistemas de información como son rendimiento, fiabilidad, seguridad, entre otros, así como la construcción de una herramienta informática que soporte el modelo.

Referencias

- Amer, M. (2011). Development of fuzzy cognitive map (FCM) based scenarios. Trabajo presentado en Technology Management in the Energy SmartWorld (PICMET), 31 de julio y 4 de agosto. Proceedings of PICMET '11.
- Axelrod, R. M. (1976). *Structure of decision: the cognitive maps of political elites*. Princeton, NJ: University Press Princeton.
- Barone, D., E. Yu, J. Won, L. Jiang y J. Mylopoulos (2010). Enterprise modeling for business intelligence the practice of enterprise modeling. En P. Bommel, S. Hoppenbrouwers, S. Overbeek, E. Proper y J. Barjis (eds.). *The practice of enterprise modeling* 68. Springer.
- Betz, C. T. (2007). *Architecture patterns for it. service management, resource planning, and governance*. EE.UU.: Morgan Kaufmann Publications.
- Biffl, S., A. Aurum, B. Boehm, H. Erdogan y P. Grünbacher (2005). *Value-based software engineering*. Secaucus, NJ, EE.UU.: Springer-Verlag.
- Bommel, P., S. Hoppenbrouwers, S. Overbeek, E. Proper, J. Barjis, D. Barone y J. Mylopoulos (2010). Enterprise Modeling for Business Intelligence. En W. Aalst, J. Mylopoulos, M. Rosemann, M. J. Shaw y C. Szyperski (eds.). *The practice of deling* (68): Springer.
- Bonham, S. S. (2005). *IT project portfolio management*. Massachusetts: Artech House.
- Bueno, S. y J. L. Salmeron (2009). Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps. *Expert Systems with Applications* 36 (3): 5221-5229.

- Cameron, B. H. (2009). IT portfolio management: implementing and maintaining it strategic alignment. En I. Global (ed.). *Strategic Information Technology and Portfolio Management* 352.
- Deek, F. P., J. A. M. McHugh y O. M. Eljabiri (2005). *Strategic software engineering : an interdisciplinary approach*. Florida: Auerbach Publications.
- Erdogmus, H., J. Favaro y M. Halling (2006). Valuation of software initiatives under uncertainty: concepts, issues, and techniques. *Value-based software engineering*. EE.UU.: Springer.
- Franke, U., P. Johnson, J. König y L. Marcks von Würtemberg (2011). Availability of enterprise IT systems: an expert-based bayesian framework. *Software Quality Journal*, 1-26.
- Georgopoulos, V. y C. Stylios (2005). Augmented fuzzy cognitive maps supplemented with case based reasoning for advanced medical decision support. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. EE.UU.: Springer: 391-405.
- R. Giordano, R. y M. Vurro (2010). Fuzzy cognitive map to support conflict analysis in drought management fuzzy cognitive maps. En M. Glykas. *Fuzzy cognitive maps. Studies in fuzziness and soft computing*. 247. Grecia: Springer-Verlag: 403-425
- Glykas, M. (2010). *Fuzzy cognitive maps. Advances in theory, methodologies, tools and applications*. Grecia: Springer-Verlag.
- Graves, S. B., J. L. Ringuest y A. L. Medaglia (2003). *Models y methods for project selection: concepts from management science, Finance and Information Technology*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- Gudas, S. (2009). Enterprise knowledge modelling: domains and aspects. *Technological and Economic Development of Economy* 15 (2). Lituania: Vilnius Gediminas Technical University: 281-293.
- Hagmayer, Y. y S. A. Sloman (2005). Causal models of decision making: choice as intervention. Disponible en: <http://www.psych.unito.it/csc/cogsci05/frame/poster/2/f292-hagmayer.pdf>

- Iacob, M., H. Jonkers, M. Lankhorst y E. Proper (2009). ArchiMate 1.0 Specification. The open group. Disponible en: http://pubs.opengroup.org/architecture/archimate-doc/ts_archimate/
- Johnson, P., E. Johansson, T. Sommestad y J. Ullberg (2007). A tool for enterprise architecture analysis. Congreso de Proceedings of Enterprise Distributed Object Computing Conference. Maryland, EE.UU.: 142. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.63.7216&rep=rep1&type=pdf>
- Johnson, P., R. Lagerström, P. Närman y M. Simonsson (2007). Enterprise architecture analysis with extended influence diagrams. *Information Systems Frontiers* 9 (2): 163-180.
- Kardaras, D. K. y B. Karakostas (2009). Fuzzy modelling for integrated strategic planning for information systems and business process design. *Strategic Information Technology and Portfolio Management*. Universidad de Atenas de Economía y Negocios: Grecia.
- Kersten, B. y C. Verhoef (2003). IT portfolio management:a banker's perspective on IT. *Cutter It Journal* (16): 4
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies* 24 (1): 65-75.
- (1988). Hidden patterns in combined and adaptive knowledge networks. *International Journal of Approximate Reasoning* 2 (4): 377-393.
- Krogstie, J. (2007). Modelling of the people, by the people, for the people. En A. O. John Krogstie, Sjaak Brinkkemper (ed.). *Conceptual Modelling in Information Systems Engineering*: 305-318
- Lankhorst, M. y Quartel, D. (2006). Architecture-based IT valuation. *Via Nova Architectura*. Disponible en: <http://www.via-nova-architectura.org/artikelen/tijdschrift/architecture-based-it-valuation.html>

- Maikel, L. V. y P. Pedro (2009). Modelo para la evaluación y selección de proyectos de innovación en las tecnologías de la información. Trabajo presentado en Sistemas de Innovación para la Competitividad 2009, Guanajuato, México.
- Mazlack, L. J. (2009). Representing causality using fuzzy cognitive maps. Trabajo presentado en Fuzzy Information Processing Society. 14-17 de junio. NA-FIPS 2009. Annual Meeting of the North American. Disponible en: http://www.ece.uc.edu/~mazlack/dbm.w2011/Mazlack_NAFIPS_2009.pdf
- Närman, P., P. Johnson, M. Ekstedt, M. Chenine y J. König (2009). Enterprise architecture analysis for data accuracy assessments. Trabajo presentado en IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference. 1-4 de septiembre: 24-33. Disponible en: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:400881/FULLTEXT01>
- Pajares, G., M. Guijarro, P. Herrera, J. Ruz y J. de la Cruz (2010). Fuzzy cognitive maps applied to computer vision tasks. En M. Glykas. *Fuzzy cognitive maps. Studies in fuzziness and soft computing*. 247. Grecia: Springer-Verlag: 259-289. Disponible en: http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-03220-2_11.pdf#page-2
- Parés, G. R. (2008). How to align software projects with business strategy. En H. Oktaba y M. Piattini (eds.). *Software process improvement for small and medium enterprises. Techniques and Case Studies*. EE.UU.: IGI Global
- Peña, A., H. Sossa y A. Gutiérrez (2007). Mapas cognitivos: un perfil y su aplicación al modelado del estudiante. *Computación y sistemas*. Centro de Investigación en Computación, IPN. Enero-marzo (10): 230-250.
- Project Management Institute (2004). *Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos*. EE.UU.: Project Management Institute.
- Project Management Institute (2008). *The standard for portfolio management*. Pensilvania: Syba: PMI Publishing Division.
- Puente, C., J. A. Olivas y A. Sobrino (2010). Estudio de las relaciones causales. *Anales de mecánica y electricidad* (87): 54-59.

- Quartel, D. A. C., W. Engelsman, H. Jonkers y M. J. van Sinderen (2009). A goal-oriented requirements modelling language for enterprise architecture. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5277742>
- Sadiq, R., Y. Kleiner y B. Rajani (2006). Interpreting fuzzy cognitive maps (FCMs) using fuzzy measures to evaluate water quality failures in distribution networks. Trabajo presentado en Joint International Conference on Computation in Civil and Building Engineering (ICCCBE XI), Montreal, QC.
- Salmeron, J. L. (2009). Supporting decision makers with Fuzzy Cognitive Maps. *Research-Technology Management* (52):53-59
- _____, R. Vidal y A. Mena (2011). Ranking fuzzy cognitive map based scenarios with TOPSIS. *Journal Expert Systems with Applications* 39 (3).
- _____, y C. López (2012). Forecasting Risk Impact on ERP Maintenance with Augmented Fuzzy Cognitive Maps. *IEEE Transactions on Software Engineering* 38 (2): 439-452.
- Santos, G., M. Kalinowski, A. R. Rocha, G. H. Travassos, K. C. Weber y J. A. Antonioni (2010, Sept. 29 2010-Oct. 2 2010). MPS.BR: A tale of software process improvement and performance results in the brazilian software industry. Trabajo presentado en la Quality of Information and Communications Technology (QUATIC), 29 de septiembre y 2 de octubre. Seventh International Conference on the.
- Santos, G., K. C. Weber y A. R. da Rocha (2009). Software process improvement in Brazil. *Evolving the MPS model and consolidating the MPS*. Brasil: SOFTEX.
- Sobrino, A. (2012). Imperfect causality: combining experimentation and theory. En E. Trillas *et al.*, (eds.) *Combining Experimentation and Theory* 27 (1): 371-389. Disponible en: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-24666-1_25#page-1
- SOFTEX (2009). *Guía de implementación. Parte 2: Fundamentos para implementación del nivel F del MR-MPS*. Brasil: Sociedad SOFTEX.

- Soler, L. S., K. Kok, G. Camara y A. Veldkamp (2011). 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*: 1-27.
- Stach, W. y L. Kurgan (2004). Modeling software development projects using fuzzy cognitive maps. Trabajo presentado en Proceedings of the 4th ASERC Workshop on Quantitative and Soft Software Engineering (QSSE'04).
- y W. Pedrycz (2010). Expert-based and computational methods for developing fuzzy cognitive maps. En M. Glykas (ed.). *Fuzzy cognitive maps. Advances in theory, methodologies, tools and applications*. Grecia: Springer-Verlag: 23-41.
- Stantchev, V., M. R. Franke y A. Discher, A. (2010). Knowledge transfer aspects of project portfolio management. En R. J. Howlett (ed.). *Innovation through knowledge transfer 5*. Springer Berlin Heidelberg: 355-367): Disponible en: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-14594-0_35#page-1
- Stylios, C. y V. Georgopoulos (2008). Fuzzy cognitive maps structure for medical decision support systems. *Studies in Fuzziness and Soft Computing* 218: 151-174. Disponible en: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-73185-6_7#page-1
- The Open Group (2008). *TOGAF version 9.1*. The Open Group Architecture Framework (TOGAF). Londres: Van Haren Publishing.
- Verhoef, C. (2002). Quantitative IT portfolio management. *Science of Computer Programming* 45 (1): 1-96.
- White, E. y L. J. Mazlack (2011). Discerning suicide notes causality using fuzzy cognitive maps. Trabajo presentado en Fuzzy Systems (FUZZ), 27-30 de junio. IEEE International Conference On.
- Wibowo, S. (2008). Approaches to selecting information systems projects under Uncertainty. Tesis de maestría. RMIT University, Business Information Technology.

- Xirogiannis, G., M. Glykas y C. Staikouras (2010). Fuzzy Cognitive Maps in Banking Business Process Performance Measurement. En M. Glykas (ed.). *Fuzzy cognitive maps. Advances in theory, methodologies, tools and applications*. Grecia: Springer-Verlag: 161-200.
- Yu, R. y G. H. Tzeng (2006). A soft computing method for multi-criteria decision making with dependence and feedback. *Applied Mathematics and Computation* 1 (180): 63-75.
- Zachman, J. A. (1987). A framework for information systems architecture. *IBM Systems Journal* 26 (3): 276-292.
- Zhou, B. (2007). Enterprise information technology project portfolio selection through system dynamics simulations. Tesis de maestría: Science in Engineering and Management. Massachusetts: Institute of Technology. 