

Control de proyectos: hacia un modelo de análisis geo-referencial basado en softcomputing

Project control: towards a geo-referential analysis model based on soft computing

Gerdys Ernesto Jiménez Moya
José Alejandro Lugo García
Pedro Yobanis Piñero Pérez

La disciplina de gestión de proyectos, apoyada en tecnologías, dota a las organizaciones de los procedimientos y técnicas necesarias para lograr un sistema de producción eficiente y eficaz. Sin embargo, durante el control a los proyectos, no se tiene en cuenta el análisis de la dimensión geográfica utilizando indicadores con tratamiento de la imprecisión en la información, como complementos vitales para la toma de decisiones. El objetivo del trabajo es proponer un modelo de análisis geo-referencial para el control automatizado de proyectos utilizando indicadores calculados a partir de técnicas de softcomputing. Los resultados alcanzados están asociados con: el uso de ocho indicadores relacionados con áreas claves de la gestión de proyectos; la propuesta de dos indicadores que permiten obtener la evaluación histórica del proyecto y la organización para la clasificación por zonas geográficas en la Plataforma GeneSIG v1.5; y un módulo de ayuda a la toma de decisiones integrado en una herramienta informática de gestión de proyectos denominada Xedro-GESPRO.

Palabras clave: Control de proyectos, dimensión geográfica, indicadores, softcomputing, toma de decisiones

RESUMEN

ABSTRACT

The project management discipline, IT supported, provide to organizations the necessary procedures and techniques towards an efficient and effective production system through decision-making. However, during project controlling, geographical dimension analysis using indicators with imprecise information treatment is not taken into account as vital complements to decision-making. The aim of this paper is to propose a geo-referential analysis model for the automated control of projects using indicators calculated from soft computing techniques. The achieved results are associated with: the use of eight indicators related to key areas of project management; the proposed of two indicators to get the historical evaluation of the project and the organization for geographical classification in GeneSIG Platform v1.5; and an aid decision-making module integrated to an IT project management tool called Xedro-GESPRO.

Keywords: Project control, geographical dimension, indicators, soft computing, decision-making

Introducción

La competitividad en el mercado mundial ha alcanzado en la actualidad una alta prioridad para las organizaciones dedicadas al desarrollo de proyectos. La complejidad y el volumen de los proyectos han crecido de manera considerable y acelerada (López, 2011). De lo anterior se deriva la necesidad de que el sistema de producción necesita ser eficiente y eficaz.

La disciplina de gestión de proyectos (GP) permite dotar a las organizaciones de los conocimientos necesarios para estos fines, entre los que se destaca la toma de decisiones. Este es un proceso que describe las actividades a realizar como parte de la resolución de problemas, abarcando las etapas de definición, identificación de alternativas y criterios, evaluación de dichas alternativas y la decisión final (Burstein & Holsapple, 2008). A través de la Dirección Integrada de Proyectos (DIP) se desarrollan aspectos clave para predecir y controlar los costos, plazos, recursos, la calidad del producto así como los requerimientos de la gerencia en función de las exigencias y necesidades del cliente para la toma de decisiones.

Para lograr el éxito en la ejecución de proyectos es necesario desarrollar un trabajo de dirección en equipo donde el papel del director como líder es decisivo, evaluando por cortes un conjunto de indicadores (Piñero-Pérez & otros, 2013). Estos indicadores están estrechamente relacionados con las siguientes áreas de conocimiento de la dirección de proyectos: costo, tiempo, calidad, logística y rendimiento de los recursos humanos. El control y evaluación de proyectos se realiza chequeando el estado de la información resultante de los procesos de iniciación, planificación, ejecución y cierre mediante el uso de indicadores. Sin embargo, la información que se maneja en estos sistemas es suministrada en su gran mayoría, por seres humanos, lo cual provoca ambigüedad e imprecisión en los conceptos analizados.

La necesidad de considerar la imprecisión ha dado lugar al desarrollo de diversos métodos de solución que pretenden ser robustos (Bello & Verdegay, 2012). Una alternativa en este sentido es la introducción de la lógica borrosa, originada en los conjuntos borrosos de Zadeh (Zadeh, 1965) y en general la introducción de técnicas de *softcomputing*, entre las que se destacan

los sistemas de inferencia borrosos, la computación con palabras (Zadeh, 1996) y los conjuntos aproximados (Dun, Huaxiong, & Xianzhong, 2010).

Cada organización debe establecer un proceso para la recolección de los datos y definirlo de la manera más natural posible (Lugo-García, 2012). Los indicadores tienen como objetivo identificar los problemas y sus causas. A través de la ponderación de sus valores obtenidos en los cortes, se determina la evaluación final sobre la ejecución del proyecto. Una revisión sobre la Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos (del inglés, *Project Management Body of Knowledge, PMBOK*) y varias de las escuelas de gestión de proyectos (PMI, 2013; IPMA, 2012; Chrissis & Shrum, 2011; Caniels & Bakens, 2012; Stanleigh, 2011; Turley, 2010), evidencia la no utilización de la dimensión geográfica como complemento en la toma de decisiones.

La dimensión geográfica se define como un conjunto de procesos que, maniobrados sobre una colección de datos estructurados de acuerdo a las necesidades de un proyecto u organización, propicia recopilar, elaborar y distribuir la información respecto a su ubicación espacial. Dicho conjunto de procesos resuelve sistemáticamente la necesidad de coordinar, concertar y articular procesos de gestión regional e interregional, que se localizan en lugares y espacios continuos (Andreu, Ricart, & Valor, 1996). Permite además, la posibilidad de integrar eficientemente la actuación del estado, la sociedad y la organización. Su representación y análisis se realiza mediante un mapa, utilizando como herramienta un Sistema de Información Geográfica (SIG). Al ser implementada en una organización, la dimensión geográfica genera un impacto potencial que mejora la actividad humana, optimizando el flujo organizacional mediante la eficacia en la toma de decisiones mediante la utilización del análisis espacial.

La utilización de los SIG para resolver diversos problemas ha resultado una práctica habitual para los organismos gubernamentales (Weihua, Jiping, & Qingsheng, 2006; Lu, 2009; Wang, Wang, Qiu, & Tao, 2010) y para varias universidades (NCGIA, 2014; UCGIS, 2011). Sin embargo, durante el control a los proyectos, no se tiene en cuenta el análisis de la dimensión geográfica utilizando indicadores con tratamiento de la imprecisión en la información, como

complementos vitales para la toma de decisiones.

El objetivo del presente trabajo es proponer un modelo de análisis geo-referencial para el control automatizado de proyectos que utiliza indicadores calculados a partir de técnicas de *softcomputing*, para contribuir a la mejora en el proceso de toma de decisiones durante la gestión de proyectos en una organización.

Materiales y métodos

Toma de decisiones

La toma de decisiones hace referencia al conjunto de operaciones que comprenden desde el momento en que se detecta un problema o una situación que hace necesaria la toma de decisiones hasta que esta es adoptada y ejecutada. Autores como (Koontz & Weihrich, 1998), (Herrera, Alonso, Chiclana, & Herrera-Viedma, 2009) y (Álvarez & Gastelúm-Contreras, 2011) definen la siguientes principales actividades para la toma de decisiones: definir el problema de toma de decisiones, realizar un análisis del problema y la información con que se cuenta, identificar las alternativas de solución, establecer criterios o expertos por los cuales pueden ser evaluadas las alternativas y evaluar las alternativas y seleccionar la mejor opción.

Para la realización del proceso de toma de decisiones se parte de construir una matriz de decisión (Merigó J., 2008). La información existente en dicha matriz puede ser precisa, imprecisa, borrosa, o lingüística y varía en dependencia del dominio del problema.

$$\begin{matrix}
 & N_1 & N_2 & \cdots & N_n \\
 \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} & & &
 \end{matrix} \quad (1)$$

La matriz puede ser diseñada a partir de la utilización de múltiples expertos (Yan & all, 2011) o a través de métodos de decisión multicriterio (Pedrycz, Ekel, & Parreiras, 2011). Está compuesta por los siguientes elementos:

- Representa los diferentes estados de naturaleza del problema de decisión.
- Representa las diferentes alternativas de decisión o estrategias que puede adoptar el decisor.
- Constituye los resultados que surgen de combinar una estrategia con los diferentes estados de naturaleza. Estos resultados pueden ser exactos o imprecisos en dependencia de la información disponible para la resolución del problema.

En dependencia de los contextos o ambientes donde se toman las decisiones, estas se clasifican según el conocimiento y el control que se tenga de las variables que intervienen en el problema. Teniendo en cuenta estos aspectos los ambientes de decisión se clasifican según (Merigó J. , 2008) en: ambiente de certidumbre, de incertidumbre o de riesgo. Entre los trabajos más recientes relacionados con la toma de decisiones en la gestión de proyectos se reporta el resultado de Menzies y colaboradores (Menzies & all, 2013), quienes proponen una solución de aprendizaje basado en casos, pero esta no incluye el análisis de la dimensión geográfica para el proceso de toma de decisiones. En este trabajo se emplearán métodos de decisión multicriterio para obtener indicadores que permitan combinar las evaluaciones obtenidas en los cortes sobre las áreas principales de la gestión de proyectos. De esta manera se obtiene una evaluación que provee a los decisores una perspectiva más integral para realizar el análisis geo-referencial.

Métodos de decisión multicriterio

El modelo clásico para la toma de decisiones multicriterio (del inglés *Multiple-Criteria Decision Making, MCDM*) (Pedrycz, Ekel, & Parreiras, 2011) prescribe formas de evaluar, priorizar y seleccionar la alternativa más favorable de un conjunto de alternativas disponibles. Estas se caracterizan por estar a diferentes niveles de logros, por lo general en conflicto, para un conjunto de atributos.

En la propuesta que se realiza se emplea el marco de trabajo propuesto por (Campanella & Ribeiro, 2011), este se representa matemáticamente de la siguiente manera:

Definición 1:

Dado un conjunto (posiblemente infinito) de instantes de tiempos $T = \{1, 2, \dots\}$ se denota A_t como conjunto de alternativas disponibles en el momento:

$$t \in T, C_t: A_t \rightarrow [0, 1]^n$$

es la función de asignación de cada alternativa de los valores del vector correspondiente para cada criterio de las n alternativas evaluadas, y

$$w_t \in [0, 1], \sum_{w \in W_t} w = 1, \forall t \in T$$

un vector de peso para expresar la importancia de cada criterio.

La calificación en cada momento $t \in T$, denotado como $R_t: A_t \rightarrow [0, 1]$, está definida sobre la base del modelo clásico en C_t y W_t y representa la agregación (no dinámica) de todos los valores de los criterios, posibilitando tener en cuenta la importancia relativa para cada una de las alternativas. La naturaleza dinámica del proceso de decisión se aborda por medio de un mecanismo de retroalimentación, controlado por una segunda función de agregación que hace uso de un conjunto de alternativas históricas, conocida también como «memoria histórica». El conjunto histórico de alternativas se define como:

$$\mathcal{H}_0 = \emptyset \text{ and } \mathcal{H}_t \subseteq \cup A_{t'}, \quad t \in T \quad t' \in T, t' \leq t \quad (2)$$

En la práctica será necesario definir el subconjunto de alternativas que se incluyen en el conjunto histórico y realizar la siguiente iteración mediante una regla de selección, denominada «política de retención». Finalmente la función de evaluación E_t :

$$A_t \cup \mathcal{H}_{t-1} \rightarrow [0, 1], \quad t \in T$$

es definida como:

$$E_t(a) = \begin{cases} R_t(a) & a \in A_t \setminus \mathcal{H}_{t-1} \\ D_E(E_{t-1}(a), R_t(a)) & a \in A_t \cap \mathcal{H}_{t-1} \\ E_{t-1}(a) & a \in \mathcal{H}_{t-1} \setminus A_t \end{cases} \quad (3)$$

Donde D_E es una función de agregación. Para toda alternativa A_t o alguna otra constituida anteriormente por medio del conjunto histórico \mathcal{H}_{t-1} se tiene que:

1. Si la alternativa a sólo pertenece al conjunto actual de alternativas, pero no al conjunto histórico \mathcal{H}_{t-1} , la evaluación $E_t(a)$ simplemente coincide con $R_t(a)$.

2. Si la alternativa a pertenece al conjunto actual y al histórico,

$$a \in A_t \cap \mathcal{H}_{t-1}$$

su evaluación es la agregación de la iteración anterior con la evaluación actual.

Finalmente, si la alternativa a no pertenece al conjunto actual de alternativas A_t pero está contenida en el conjunto histórico \mathcal{H}_{t-1} , su evaluación se realiza considerando la iteración anterior $E_t(a) = E_{t-1}(a)$.

Para asegurar que se realice la repetición por pares, la función de agregación

$$D_E: [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$$

se requiere que sea asociativa y producirá para un tiempo t , el mismo resultado que la aplicación sobre el conjunto de valores pasado

$$E_{t'}, t' \in \{1, \dots, t\}.$$

$$D_E(D_E(x, y), z) = D_E(x, D_E(y, z)), \forall x, y, z \in [0, 1] \quad (4)$$

Esta condición es sumamente importante, pues permite realizar el cálculo de manera incremental sin la necesidad de almacenar los valores anteriores. La elección de la función de agregación para obtener la evaluación dinámica es independiente a la función utilizada para obtener la alternativa en la parte no dinámica.

Operadores de agregación

Como se expone en el epígrafe anterior, los operadores o funciones de agregación constituyen un componente clave para asociar los valores de cada alternativa. Es por ello que sus propiedades matemáticas tienen un impacto en la producción de los valores para la clasificación final de las alternativas en la toma de decisiones multicriterio.

Definición 2:

Un operador de agregación se define como la función matemática empleada para la agregación de información. Combina n valores en un dominio D y devuelve un valor

en ese mismo dominio. Las funciones se denotan con el símbolo \mathbb{C} y tienen la forma siguiente (Torra & Narukawa, 2007):

$$\mathbb{C}: N^n \rightarrow N \quad (5)$$

Algunos de los operadores más utilizados en los problemas de tomas de decisiones son la media ponderada, las integrales difusas (Marichal, 2000) y la familia de operadores OWA (*Ordered Weighted Averaging* o media ponderada ordenada por su traducción al español). Esta última técnica fue introducida por (Yager, 1988) y actualmente es una de las familias de operadores más utilizadas en la solución de diversos problemas de toma de decisión, modelado de redes, base de datos, sistemas borrosos y fusión de información.

En este trabajo se utilizan los operadores OWA para realizar la agregación de la información debido a que permiten que se le asigne pesos a los datos para alcanzar la compensación en dependencia de sus valores y la representación de conceptos borrosos. Otra de las ventajas de este operador está dada por la gran flexibilidad que aportan en los esquemas de decisión para modelar una gran cantidad de reglas de agregación. Su definición matemática está dada de la siguiente forma:

Definición 3:

Un operador OWA se define como una función de dimensión n del tipo $F: R^n \rightarrow R$ a la que se le asocia un vector $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ de longitud n , donde $w_i \in [0, 1]$ y $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. Además se cumple que:

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_j * b_j$$

donde b_j es el j -ésimo valor mayor de las a_n .

Dentro de la familia de operadores OWA parametrizados se encuentra el operador ME-OWA, refiriéndose las siglas ME a máxima entropía, el Step-OWA u operadores de tipo escalón, el OWA ponderada (del inglés, *Weighted Ordered Weighted Averaging, WOWA*) (Torra & Narukawa, 2007), la media ponderada inmediata (del inglés, *Immediate Weighted Average, IWA*) y el operador OWAWA (del inglés *Ordered Weighted Averaging Weighted Averaging (OWAWA)*) (Merigó J., 2008; Merigó J.M., 2011).

En los últimos años investigaciones como Dweiri (Dweiri & Kablan, 2006), Bhatt (Bath, 2009), Gao (Gao, 2010) y Certa (Certa, Enea, & Giallanza, 2010) han propuesto soluciones teóricas basadas en técnicas de *softcomputing* útiles para el control de proyectos. Lugo (Lugo-García, 2012) propone un nuevo modelo para el control de la ejecución de proyectos utilizando indicadores y lógica borrosa, aplicado sobre una herramienta de gestión de proyectos. Por otra parte, Guo (Guo, Yan, Fan, & Zhu, 2010), da Silva (da Silva & Maciel de Almeida, 2007), Roy (Roy & Mandal, 2011), Eldrandaly (Eldrandaly & AbdelAziz, 2012) y Guillaume (Guillaume, Charnomordic, Tisseyre, & Taylor, 2013) aplican técnicas de *softcomputing* en sistemas de información geográfica para la resolución de problemas agro-ecológicos, camino mínimo y predicción de ubicación de instalaciones e inmuebles.

Sin embargo, aún no se resuelven de forma práctica los problemas relacionados con el análisis de la dimensión geográfica y el tratamiento de la imprecisión en la información utilizando indicadores como complementos vitales para la toma de decisiones en sistemas de información geográfica aplicados en el control de proyectos.

Modelo de análisis geo-referencial para el control de proyectos

En la Figura 1 se muestra una vista general del modelo propuesto con la interrelación entre sus componentes. Su funcionamiento sistémico permite la utilización de la dimensión geográfica para la clasificación de zonas geográficas durante el control automatizado de proyectos, empleando indicadores calculados mediante técnicas de *softcomputing*.

El modelo basa su funcionamiento a partir de las siguientes características:

- Se utilizan evidencias dadas por los indicadores calculados a partir de técnicas de *softcomputing* integrados en sistemas de gestión de proyectos.
- Se tienen en cuenta las evaluaciones históricas realizadas en los cortes anteriores para emitir una evaluación a partir de los indicadores calculados, tanto para los proyectos como para las organizaciones.
- Se basan en las prioridades de los proyectos y en criterios de mayoría para realizar la clasificación de las zonas geográficas mediante la asignación de pesos.

La propuesta está conformada por tres componentes fundamentales:

- C1. Tematizaciones.
- C2. Clasificación de zonas geográficas.
- C3. Integración de HGP con SIG.

A continuación se detallan los componentes descritos para mayor comprensión de los mismos.

Componente tematizaciones

En la investigación el término empleado «tematizaciones» se refiere a la acción y efecto de tematizar un mapa respecto a la evaluación obtenida de un indicador. El flujo de actividades del componente con sus respectivas entradas y salidas se representa en la Figura 2.

Descripción detallada del proceso:

Actividad 1.

Especificación del dominio de valores de los indicadores: se establecen los indicadores que se utilizan para la evaluación, así como el dominio de valores que pueden obtener en cuanto a los términos lingüísticos que los representan y sus respectivos conjuntos borrosos. Se propone el empleo de los

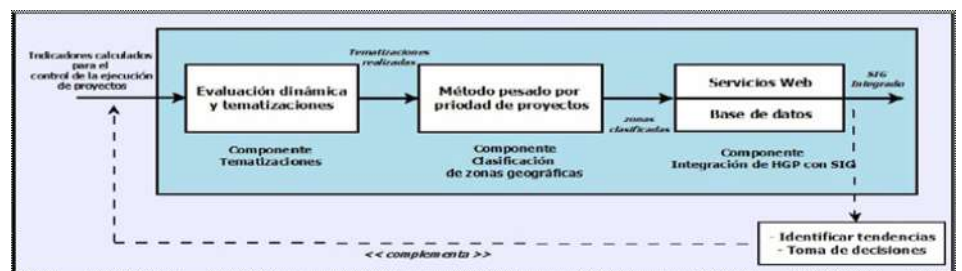


Figura 1. Análisis geo-referencial para el control automatizado de proyectos

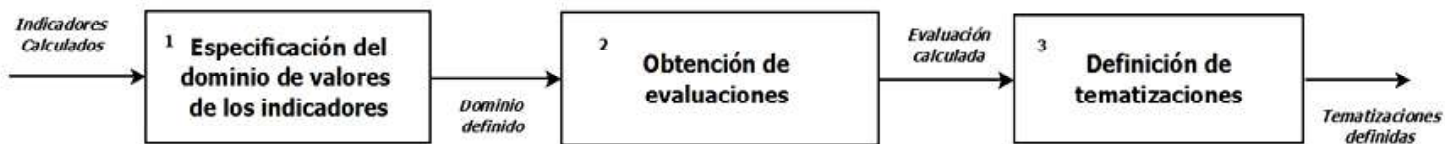


Figura 3. Proceso que describe las tematizaciones según los indicadores obtenidos

indicadores que se calcula a partir de la propuesta realizada por Lugo (Lugo-García, 2012). Además se incluyen dos indicadores propuestos por los autores denominados evaluación histórica del proyecto (EPH) y evaluación histórica de la organización (EHE).

Actividad 2.

Obtención de las evaluaciones del proyecto: Partiendo de la normalización de los indicadores obtenidos se realiza la evaluación del proyecto y la organización utilizando la técnica MCDM en un entorno dinámico, es decir, contempla tanto la evaluación de un corte como de un conjunto de cortes para emitir una evaluación final. Primeramente se obtiene la evaluación del proyecto y la organización en un corte y luego la evaluación dinámica para ambos casos.

Actividad 3.

Definición de tematizaciones: se propone la evaluación cualitativa Bien (B), Regular (R) o Mal (M) de los proyectos utilizando un sistema de inferencia borroso Sugeno Grado Cero (Sugeno, 1977), empleando como variables de entrada los valores de los indicadores. Para cada caso se le asigna un color para su representación, el verde para los resultados evaluados de B, el amarillo para los evaluados de R y el rojo para los evaluados de M. Teniendo en cuenta la tematización del indicador, en caso de que se tematice el valor de la evaluación, se mostrará el proyecto en el mapa con un círculo con el color correspondiente según la evaluación cualitativa obtenida y para una organización con una estrella como símbolo predefinido.

Componente Clasificación de zonas geográficas

Mediante la obtención de las evaluaciones de los proyectos y las entidades desarrolladoras a partir de los valores de los indicadores así como de las tematizaciones, se procede a realizar la clasificación de las zonas geográficas. El proceso que se muestra en la Figura 3 se realiza utilizando los valores

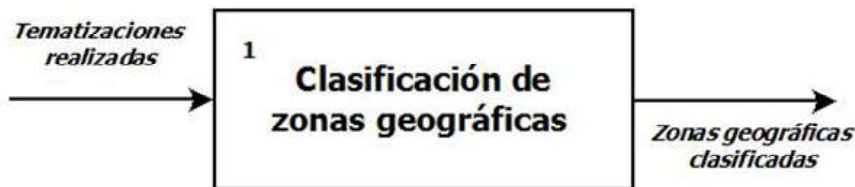


Figura 3. Proceso de clasificación de zonas geográficas.

obtenidos a partir de los indicadores y las evaluaciones descritas en C1.

Descripción detallada del proceso:

Actividad 1.

Clasificación de zonas geográficas: Para obtener la clasificación de una zona geográfica (CG_i) en el corte *i* donde los elementos tematizados se corresponden con un conjunto de objetos espaciales, «proyecto» u «organización», se realiza por la agregación de valores tematizados de los indicadores en el momento de la clasificación. El autor propone dos variantes haciendo uso de operadores OWA. La primera variante se realiza utilizando la prioridad del proyecto y es aplicable para la tematización del conjunto de objetos espaciales «proyecto» mediante el empleo del operador OWAWA para la agregación de la información. La segunda variante se realiza utilizando el concepto de mayoría y es aplicable tanto para la tematización del conjunto de objetos espaciales «proyecto» como para «organización» mediante el empleo del operador MA-OWA.

Componente Integración de HGP con SIG

En la Figura 4 se muestra el flujo de las actividades que se realizan con sus respectivas entradas y salidas para la ejecución del componente C3.

Descripción detallada del proceso:

Actividad 1.

Definición del dominio: Se realiza el aseguramiento metodológico con el objetivo de minimizar el impacto organizacional que implica la implantación del modelo propuesto, con el fin de establecer un balance de eficiencia y efectividad en cuanto a su utilización.

Actividad 2.

Definición de la arquitectura base: Se identifican paquetes arquitectónicamente significativos que intervienen en la solución, por ejemplo los datos espaciales, el servidor de mapas a utilizar, los servicios, entre otros.

Actividad 3.

Instalación de la Plataforma: Se establece el

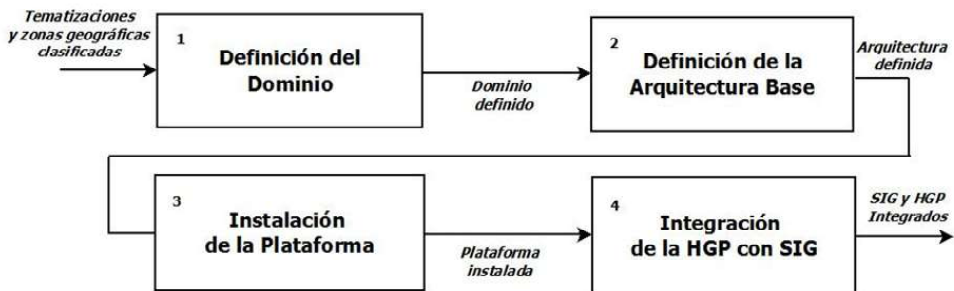


Figura 4. Proceso de integración de SIG con HGP

aseguramiento tecnológico para la instalación del módulo que soporta el análisis geo-referencial para el control automatizado de proyectos sobre un SIG, así como las configuraciones pertinentes para su correcto funcionamiento.

Actividad 4.

Integración de la HGP con el SIG: La integración se puede efectuar de dos maneras; a través de la base de datos de la HGP o mediante la implementación de servicios web. En dependencia de las características del escenario de integración y en correspondencia de las facilidades que los sistemas tengan se podrá seleccionar una u otra variante indistintamente. Para cualquiera de las dos variantes se hace necesario definir cuál es la información socioeconómica sobre los proyectos u organizaciones que se desea mostrar a través del SIG. En la Tabla 1 se presenta una propuesta de la información mínima a mostrar.

Tabla 1. Propuesta de información del objeto espacial a mostrar en el SIG

Proyecto	Organización
Identificador	Identificador
Nombre	Nombre
Organización (a que pertenece)	Descripción
Descripción	Indicadores
Indicadores	

Tabla 2. Indicadores calculados por Xedro-GESPRO para el control a los proyectos mediante técnicas de softcomputing(Lugo-García, 2012)

Indicadores	Áreas de conocimiento de la GP
Evaluación de la ejecución del proyecto	Gestión de integración
IRE (Índice de rendimiento de la ejecución)	Gestión del alcance y los compromisos
IRP (Índice de rendimiento de la planificación)	Gestión de tiempo
IRC (Índice de rendimiento de los costos)	Gestión de costos
IREF (Índice de rendimiento de la eficacia)	Gestión de alcance y calidad
IRRH (Índice de rendimiento de los recursos humanos)	Gestión de recursos humanos
IRL (Índice de rendimiento de la logística)	Gestión de logística
ICD (Índice de calidad del dato)	Consistencia de la información

Resultados y discusión

El modelo propuesto se aplicó en la Suite Xedro-GESPRO (Piñero-Pérez & otros, 2013) el cual está siendo utilizado por la Dirección General de Producción (DGP) y el Laboratorio de Investigaciones en Gestión de Proyectos de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) desde abril del 2013 hasta la actualidad.

Para su aplicación se desarrolló SIGESPRO, el cual constituye una personalización de un SIG basado en la Plataforma GeneSIG v 1.5 (GEYSED, 2012). El mismo accede a los datos socio-económicos e indicadores de los proyectos (ver Tabla 2) y las organizaciones calculados por Xedro-GESPRO. Este permite a los decisores tener una visión respecto a la dimensión geográfica de conjunto con los indicadores para realizar el control de proyectos teniendo en cuenta su ubicación espacial para la toma de decisiones.

La cifra de proyectos gestionados en dicha institución asciende sobre los 140, de los cuales una parte se corresponde con proyectos nacionales y el resto con proyectos de exportación. Estos últimos de vital importancia por los ingresos que reportan por concepto de facturación de productos de software y servicios profesionales. Es de señalar que en la UCI los proyectos se desarrollan en centros de producción organizados según el área

temática o dominio de informatización de los productos de software que desarrollan, y están ubicados geográficamente en diferentes lugares. Además los clientes de dicha institución están situados en diferentes regiones del país y en varios casos incluso en diferentes países del continente americano y en Europa. En la Figura 5 se muestra una vista de la ubicación geográfica de varios proyectos en ejecución en diferentes áreas geográficas de la universidad tematizados por el indicador «Evaluación de la ejecución del proyecto».

En la Figura 6 se muestra una vista de la información relacionada con los restantes indicadores del proyecto, nombre del indicador, nomenclatura, valor obtenido, fecha de corte y su respectiva evaluación lingüística.

En la Figura 7 se muestra una vista sobre la clasificación de una zona geográfica. Se selecciona una región del mapa y utilizando el operador OWAWA se obtiene la agregación con respecto al indicador que se encuentra tematizado en el momento de la selección.

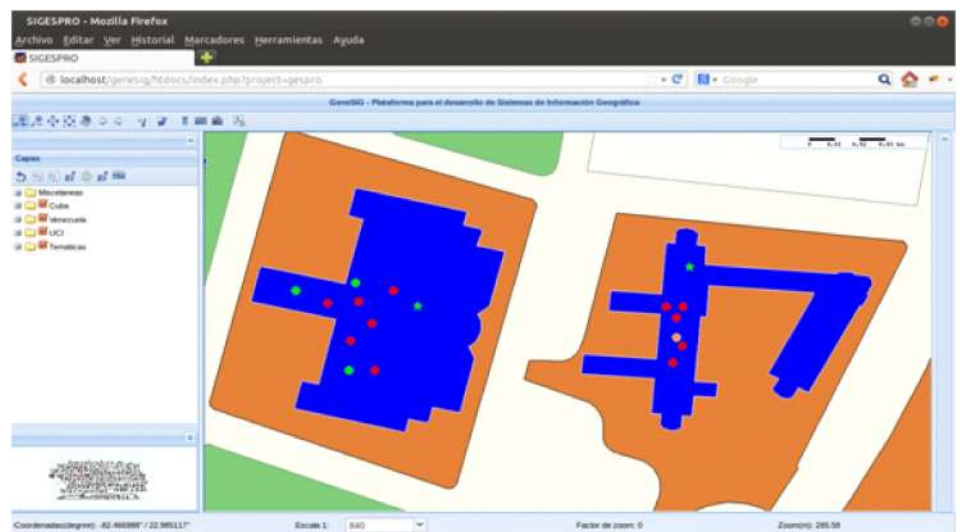


Figura 5. Vista de proyectos en ejecución tematizados por el indicador «Evaluación de la ejecución del proyecto». Fuente: Los autores

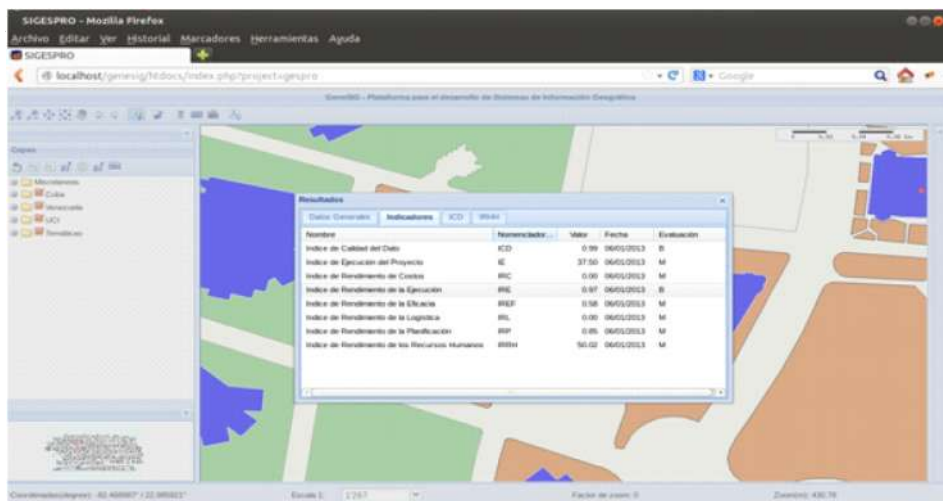


Figura 6. Vista de los valores de los indicadores de un proyecto

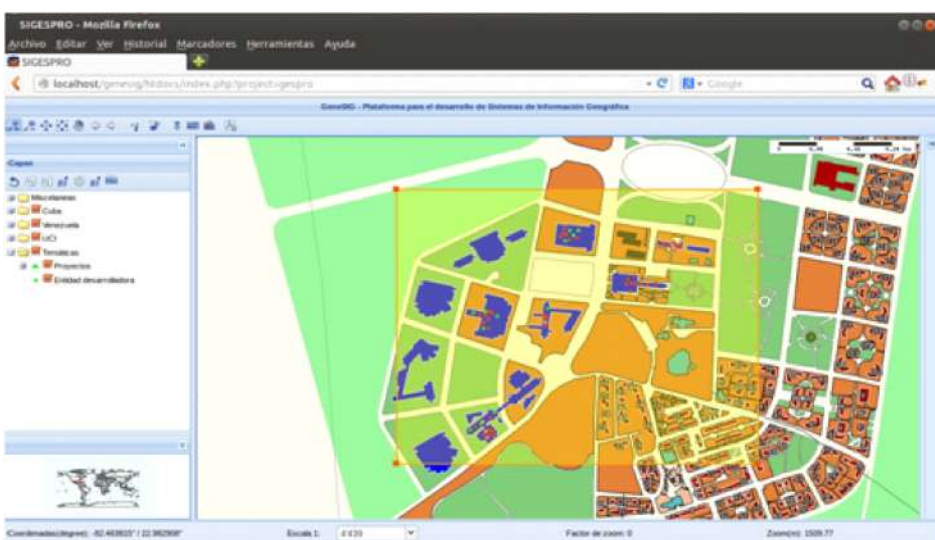


Figura 7. Vista de la clasificación de una zona geográfica dada una selección de una región del mapa

Nótese que se incluye para la clasificación a todos los proyectos que estén contenidos respecto a su ubicación geográfica dentro del dominio de la selección. El área de selección se dibuja en rojo si la agregación emite como resultado la clasificación de Mal, amarillo de Regular y verde de Bien (en todos los casos con efecto de transparencia).

Validación de la propuesta

El modelo propuesto se validó a partir del grado de usabilidad en cuanto a sus niveles de comprensión, complejidad de su implementación y capacidad de generalización. Para este análisis se utilizó el método de conjuntos borrosos con números borrosos triangulares (NBT) (Zadeh, 1965). Se utilizó la encuesta como instrumento de diagnóstico para la recopilación de la información y se encuestó

el 60% de los profesionales que laboran en la DGP y el Laboratorio de Investigaciones en Gestión de Proyectos de la UCI. Fueron encuestados profesionales que se desempeñan indistintamente como directores de centros, jefes de proyectos, analistas, planificadores, especialistas funcionales, desarrolladores, gestores de conocimiento y administradores de la calidad.

Se estableció una escala nominal para la evaluación del indicador usabilidad dada por: 0.0-0.2 (Muy baja), 0.21-0.4 (Baja),

0.41-0.6 (Medio), 0.61-0.8 (Alta) y de 0.81-1.0 (Muy alta). El resultado obtenido a partir de la media muestral borrosa como medida de tendencia central fue de 0.76, por tanto indica una valoración de Alta del indicador usabilidad. Para la validación de la fiabilidad del instrumento empleado se utilizó el método de Alfa de Cronbach (Cronbach, 1951) sobre los datos obtenidos a través de su ejecución. Este establece que un valor igual o mayor a 0.8 representa un valor alto de confiabilidad. La conclusión del análisis puede ser consultada en la Tabla 3 donde se muestra un resultado obtenido de $\alpha = 0.813$ que supera el valor mínimo deseado de 0.8 empleando la herramienta estadística SPSS.

Además se evaluaron los siguientes indicadores: Representa la imprecisión, Tiempo para visualizar geográficamente la evaluación de proyectos y/u organización y Subjetividad en la clasificación de una zona geográfica. Con el objetivo de obtener los valores para medir los indicadores se aplicó una entrevista antes y después de aplicarse el modelo a usuarios de la herramienta Xedro-GESPRO. Se aplicó el test no paramétrico de Wilcoxon para dos muestras relacionadas con el método de Monte Carlo para un 99% de intervalo de confianza utilizando la herramienta estadística SPSS. Su utilidad en este trabajo está dada por la necesidad de determinar la existencia o no de diferencias significativas para cada indicador analizado.

Los entrevistados emitieron su opinión evaluando la variable «Representa la imprecisión» seleccionando una de las siguientes opciones: la respuesta positiva (Se registró con el número 1) y para la respuesta negativa (Se registró con el número 2).

En la Tabla 4 se muestran los estadígrafos obtenidos en la evaluación del indicador Representa la imprecisión. En estos se evidencia que en Xedro-GESPRO se realiza tratamiento a la imprecisión en la evaluación del control automatizado de proyectos haciendo análisis geo-referencial.

Tabla 3. Resultados del Alfa de Cronbach en la evaluación del instrumento

Test de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basado en ítem estandarizados	Total de ítem
.813	.814	6

Tabla 4. Estadígrafos obtenidos sobre el indicador «Representa la imprecisión»

	Estadística descriptiva	
	Incertidumbre GESPRO 12.05	Incertidumbre GESPRO 13.05
N	17	17
Media	1.8824	1.0588
Desviación	.33211	.24254
Mínimo	1.00	1.00
Máximo	2.00	2.00
Percentiles	25	2.0000
	50	2.0000
	75	2.0000

Para evaluar el «Tiempo para visualizar geográficamente la evaluación de proyectos y/u organización» los entrevistados emitieron su opinión seleccionando una de las siguientes opciones: de 5 a 30 segundos (Se registró con el número 1), de 30 a 60 segundos (Se registró con el número 2), de 1 a 8 horas (Se registró con el número 3) y más de 8 horas (Se registró con el número 4).

En la Tabla 5 se muestran los estadígrafos obtenidos en la evaluación del indicador «Tiempo para visualizar geográficamente la evaluación de proyectos y/u organización». Los resultados demuestran que el tiempo disminuye en el orden de las horas a los segundos. Se evidenció además una disminución de los valores en cuanto a la desviación estándar, por tanto se considera mayor similitud en las valoraciones de los entrevistados.

Tabla 5. Estadígrafos obtenidos sobre el indicador «Tiempo para visualizar geográficamente la evaluación de proyectos y/u organización»

	Estadística descriptiva	
	Incertidumbre GESPRO 12.05	Incertidumbre GESPRO 13.05
N	17	17
Media	3.0000	17
Desviación	.35355	1.0588
Mínimo	2.00	.24254
Máximo	4.00	1.00
Percentiles	25	2.00
	50	1.0000
	75	1.0000

Tabla 6. Estadígrafos obtenidos sobre el indicador «Subjetividad en la clasificación de una zona geográfica»

	Estadística descriptiva	
	Incertidumbre GESPRO 12.05	Incertidumbre GESPRO 13.05
N	17	17
Media	1.0588	2.5294
Desviación	.24254	.51450
Mínimo	1.00	2.00
Máximo	2.00	3.00
Percentiles	25	2.0000
	50	3.0000
	75	3.0000

Para evaluar la variable «Subjetividad en la clasificación de una zona geográfica» los entrevistados emitieron su opinión seleccionando una de las siguientes opciones: Alta (Se registró con el número 1), Media (Se registró con el número 2) y Baja (Se registró con el número 3).

En la Tabla 6 se muestran los estadígrafos obtenidos en la evaluación del indicador «Subjetividad en la clasificación de una zona geográfica». Los resultados muestran que la subjetividad varía de Alta a Baja dada fundamentalmente por la automatización del proceso de clasificación de zonas geográficas.

Los resultados de la simulación de Monte Carlo con un 99% de intervalo de confianza en todos los casos mostraron valores inferiores

a 0.05. De lo anterior se evidencia el incremento de las potencialidades de la Suite Xedro-GESPRO donde se favorece el proceso de toma de decisiones reflejado por las mejoras alcanzadas en las variables analizadas.

Conclusiones

El sistema de control desarrollado contribuye a la retroalimentación y mejora de los procesos organizacionales en función de garantizar los objetivos del proyecto.

La propuesta utiliza como base un enfoque de tratamiento a la imprecisión durante el procesamiento de los datos primarios, lo cual favorece la mejora de la representación de la dimensión geográfica de los proyectos durante su análisis y evaluación.

La aplicación de la propuesta en la Suite Xedro-GESPRO permitió disminuir los tiempos empleados para localizar geográficamente la evaluación de los proyectos y/u organizaciones, así como los niveles de subjetividad durante la clasificación de zonas geográficas.

La utilización de la dimensión geográfica para la clasificación de zonas geográficas durante el control de proyectos empleando indicadores calculados a partir de técnicas de *softcomputing*, permite realizar un análisis de la dimensión geográfica de manera eficiente y eficaz.

Los resultados de la investigación pueden ser extendidos a otros grupos de procesos de la gestión de proyectos como Iniciación y Planificación, para controlar los recursos humanos y logísticos, incidiendo en la solución de problemas asociados con la cadena de suministros.

Referencias

- Álvarez, M. M., & Gastelúm-Contreras, Y. I. (2011). Toma de decisiones. Loja, Ecuador.: Universidad Nacional de Loja.
- Andreu, R., Ricart, J. E., & Valor, J. (1996). Estrategia y sistemas de información. Madrid, España.: McGraw-Hill.
- Bath, M. (2009). Project Classification Using Soft Computing. In 2009

- International Conference on Advances in Computing, Control & Telecommunication Technologies, ACT., (págs. 537-539).
- Bello, R., & Verdegay, J. L. (2012). Rough sets in the Soft Computing environment. *Information Sciences*, 212, 1-14.
- Blanco, L. J. (2011). La informática en la dirección de empresas. Ed.: Félix Varela. La Habana, Cuba. La Habana, Cuba: Félix Varela.
- Burstein, F., & Holsapple, C. W. (2008). *Handbook on Decision Support Systems (Vol. 1)*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Campanella, G., & Ribeiro, R. (2011). A framework for dynamic multiple-criteria making. *Decision Support Systems*, 52-60.
- Caniëls, M. C., & Bakens, R. J. (2012). The effects of Project Management Information Systems on decision making in a multi project environment. *International Journal of Project Management*, 30(2), 162-175.
- Certa, A., Enea, M., & Giallanza, A. (2010). A synthetic measure for the assessment of the project performance. In *Business Performance Measurement and Management*. Berlin, Alemania: Springer, Editor. Springer-Verlag.
- Chrissis, M. B., & Shrum, S. (2011). *CMMI for development: guidelines for process integration and product improvement*. California, EUA: Pearson Education.
- Cronbach, J. L. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Illinois, E.U.A.: Springer: Psychometrika*.
- da Silva, G., & Maciel de Almeida, P. E. (2007). On the Shortest Path Problem: a New Approach with Fuzzy Inference Systems and Conventional Geographic Information Systems. In *Seventh International Conference on Intelligent Systems Design and Applications.*, (págs. 427-432). Rio de Janeiro.
- Delgado-Victore, R. (2011). *La Dirección Integrada de Proyecto como Centro del Sistema de Control de Gestión en el Ministerio del Poder Popular para la Comunicación y la Información*. Caracas, Venezuela.
- Dun, L., Huaxiong, L., & Xianzhong, Z. (2010). Two decades 'research on decision-theoretic rough sets. 2010 9th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI) (págs. 968-973). Beijing: IEEE.
- Dweiri, F., & Kablan, M. (2006). Using fuzzy decision making for the evaluation of the project management internal efficiency. *Decision Support Sys-tems.*, 42(2), 712-726.
- Eldrandaly, K. A., & AbdelAziz, N. M. (2012). Enhancing ArcGIS decision making capabilities using an intelligent multicriteria decision analysis toolbox. *Journal of Environmental Informatics*, 20(1), 44-57.
- Gao, H. (2010). A fuzzy-ANP approach to project management performance evaluation indices system. In *2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management*, IEEE.
- GEYSED. (2012). *Plataforma soberana GeneSIG v1.5*. La Habana, Cuba.
- Guillaume, S., Charnomordic, B., Tisseyre, B., & Taylor, J. (2013). S. Guillaume, B. Charnomordic, B. Tisseyre & J. Taylor, «Soft computing-based decision support tools for spatial data. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 6(1), 18-33.
- Guo, X., Yan, D., Fan, J., & Zhu, W. (2010). Using GIS and Fuzzy Sets to Evaluate the Olive Tree's Ecological Suitability in Sichuan Province. *Computing in Science & Engineering*, 12(1), 20-27.
- Herrera, F., Alonso, S., Chiclana, F., & Herrera-Viedma, E. (2009). Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 8(4), 337-364.
- IPMA. (2012). (BD Nijkerk, Netherlands) Obtenido de © 2012 IPMA: International Project Management Association.: <http://ipma.ch/about>.
- Koontz, H., & Wehrich, H. (1998). *Administración: una perspectiva global*. New Jersey, E.U.A.: McGraw-Hil.
- López, A. (2011). *La dirección de proyectos y la ciencia del proyecto*. La Habana, Cuba: ENLACE.
- Lu, X. (2009). *A Unified E-Government Information Management Platform Based on Web GIS Technology*. Wuhan, China.: In *International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering*.
- Lugo-García, J. A. (2012). *Modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa*. La Habana, Cuba.: Universidad de las Ciencias Informáticas.
- Marichal, J.-L. (2000). On Sugeno Integral as an aggregation function. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(3), 347-365.
- Menzies, T., & all. (2013). *Learning Project Management Decisions: A Case Study with Case-Based Reasoning versus Data Farming*. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 39(12), 1698-1713.
- Merigó, J. (2008). *New extensions to the OWA operators and its application in decision making*. Barcelona, España.
- Merigó, J. M. (2011). *A unified model between the weighted average and the induced OWA operator*. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11560-11572.
- NCGIA. (2014). *University Consortium for Geographic Information Science*. Santa Bárbara, EUA. Recuperado el 12 de Febrero de 2014, de The University of

- Maine: <http://umaine.edu/ngcia/>
- Pedrycz, W., Ekel, P., & Parreiras, R. (2011). Fuzzy multicriteria decision-making: models, methods and applications. Canadá: Wiley.
- Piñero-Pérez, P. Y., & otros. (2013). Paquete para la Dirección Integrada de Proyectos y ayuda a la toma de decisiones: GESPRO.
- Piñero-Pérez, P. Y., & otros. (2013). GESPRO. Paquete para la gestión de proyectos. Revista Nueva Empresa. Revista Nueva Empresa, 9(1).
- PMI. (2013). Guía de los Fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK). Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
- Roy, P., & Mandal, J. K. (2011). A Novel Fuzzy-GIS Model Based on Delaunay Triangulation to Forecast Facility Locations (FGISFFL). In 2011 International Symposium on Electronic System Design, (págs. 341-346). Kochi, Kerala.
- Stanleigh, M. (2011). Combining the ISO 10006 and PMBOK to ensure successful projects. Brasil: <http://www.pmimg.org.br/artigos/Combinando10006EPMBOK.pdf>.
- Stoner, J. A., Freeman, R. E., & Gilbert, D. R. (1996). Administración. Wisconsin, E.U.A.: Prentice Hall.
- Sugeno, M. (1977). Fuzzy Measures and fuzzy inte-grals., Amsterdam: A Survey. Fuzzy Automata and Decision Processes North-Holland, (págs. 89-102). Amsterdam, Holanda.
- Torra, V., & Narukawa, T. (2007). Modeling decisions: information fusion and aggregation operators. Catalonia, España.: Springer Berlin Heidelberg New York.
- Turley, F. (2010). El modelo de procesos de PRINCE2. Londres: Londres, Reino Unido.
- UCGIS. (2011). University Consortium for Geographic Information Science. Recuperado el 6 de marzo de 2015, de University Consortium for Geographic Information Science.: <http://ucgis.org/>
- Wang, L., Wang, Y. L., Qiu, A., & Tao, K. (2010). Research on Government GIS Construction and Application Technology Based on CNGI. In International Conference on Web Information Systems and Mining, (págs. 138 –142). Beijing, China.
- Weihua, D., Jiping, L., & Qingsheng, G. (2006). Construction of E-Government GIS Based on Net Platform and Web Service. IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium (págs. 921-923). IEEE International Conference.
- Yager, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. IEEE Transactions: Systems, Man and Cybernetics., 183-190.
- Yan, H. B., & all. (2011). A probabilistic model for linguistic multi-expert decision making involving semantic overlapping. Expert Systems with Applications, 38(7), 8901-8912.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control., 8(1), 338-353.
- Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy logic = computing with words. IEEE Transactions on Fuzzy Systems., 4(2), 103-111

Recibido: 29 de junio de 2017
Aprobado en su forma definitiva:
25 de agosto de 2017

Gerdys Ernesto Jiménez Moya
Universidad de las Ciencias Informáticas,
La Habana, Cuba.
Correo-e.: gejimenez@uci.cu

José Alejandro Lugo García
Universidad de las Ciencias Informáticas,
La Habana, Cuba.
Correo-e.: jalugo@uci.cu

Pedro Yobanis Piñero Pérez
Universidad de las Ciencias Informáticas,
La Habana, Cuba.
Correo-e.: ppp@uci.cu
