

Modelo multicriterio multiexperto utilizando Mapa Cognitivo Difuso para la evaluación de competencias.

Omar Mar Cornelio
Maykel Y. Leyva Vázquez
Ivan Santana Ching

El control automático en su integración con las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones han implementado los Sistemas de Laboratorios a Distancia como forma de Aprendizaje Electrónico. Sin embargo los costosos dispositivos acoplados a los Sistemas de Laboratorios a Distancia, no poseen mecanismos que permitan diagnosticar las competencias de los usuarios que realizan prácticas de laboratorios causando afectaciones a los dispositivos físicos producto a su mala manipulación. La presente investigación describe una solución a la problemática planteada a partir de la elaboración de un modelo que utiliza un enfoque multicriterio multiexperto basado en Mapa Cognitivo Difuso a través de la representación de las relaciones causales entre los conceptos. Se implementa un estudio de caso aplicándose el modelo propuesto donde se obtiene mediante la simulación de escenario la tendencia que posee un individuo sobre las competencias en Control Automática.

Palabras clave: mapa cognitivo difuso; evaluación de competencias; relaciones causales; toma de decisiones.

RESUMEN

ABSTRACT

The automatic control integration with Information Technology and Communications Systems implemented Laboratories Distance as a form of e-learning. However the expensive devices coupled Systems Laboratories Distance not has mechanisms to diagnose the competencies of users performing laboratory practices causing damages to the physical devices product to your mishandling. This paper describes a solution to the issues raised from the development of a model that uses a multi-criteria approach multiexperto based on fuzzy cognitive map through the representation of causal relationships between concepts. A case study applied the proposed model which is obtained by simulating the trend scenario has an individual on the powers implemented in Automatic Control.

Keywords: fuzzy cognitive map; skills assessment; causal relationships; decision making.

Introducción

En la actualidad existen plataformas de aprendizaje electrónicas para el control automático bajo la filosofía de compartir diversos recursos tecnológicos los cuales serían difíciles de generalizar por sus altos costos de implementación llamados Sistemas de Laboratorios a Distancias (SLD) (Santana, 2012). Sin

embargo la disponibilidad de las plataformas, imposibilita la existencia de un moderador supervisando las prácticas que son elaboradas por los estudiantes.

La evaluación representaría el acto mediante el cual es posible estimar el rendimiento de una persona (J. Rodríguez, 2010). Una buena

evaluación puede identificar problemas de desempeño (R. Salas, 2010), indicar la necesidad de volver a capacitar o revelar un potencial no aprovechado.

Las competencias de un individuo en un área determinada del conocimiento, están condicionadas por relaciones causales entre

diferentes conceptos (Sokar & Khalifa, 2011), siendo posible realizar una representación de un modelo mental que analice la causalidad conceptual mediante la utilización de Mapa Cognitivo Difuso (MCD) (Gray, 2012).

Basado en modelos mentales causales, se propone como objetivo de la investigación: desarrollar un modelo que utilice Mapa Cognitivo Difuso utilizándose un enfoque multicriterio multiexperto para diagnosticar las competencias de los usuarios que realizarán prácticas de laboratorios en el Sistema de Laboratorios a Distancia.

Materiales y métodos

Descripción del modelo para la evaluación de competencias

El modelo para la evaluación de competencias, está diseñado para garantizar la gestión del proceso de diagnóstico de competencias, utiliza un enfoque multicriterio donde se identifican las relaciones causales que intervienen entre criterios soportado sobre el consenso de experto.

El modelo propuesto realiza tres actividades básicas, entrada, procesamiento y salida de información. Las entradas proporcionan las informaciones necesarias para nutrir el procesamiento del modelo donde se introducen los expertos que intervienen en el proceso, los indicadores evaluativos y las relaciones causales (Santos, 2009). El procesamiento permite agregar las relaciones causales, realizar análisis estático y simular escenario para predecir el comportamiento futuro. Por su parte la salida de información permite devolver las informaciones introducidas en datos estructurados que representan las inferencias realizadas por el modelo (Sánchez & Valdés, 2009).

Estructura del modelo para el diagnóstico de competencias

El proceso de diagnóstico refleja el comportamiento del razonamiento (Singh, 2011), donde son gestionadas las relaciones casuales (Bueno & Salmerón, 2009) permitiéndose modelar el sistema con retroalimentación causal de grados difusos (Leyva & Rosado, 2012). El modelo

propuesto se basa en un enfoque multicriterios multiexpertos (Grajales & Serrano, 2013) representado mediante Mapas Cognitivos Difusos (Merigó & Gil, 2010) el cual cuenta con las siguientes etapas:

- Etapas 1: Seleccionar los criterios evaluativos.
- Etapas 2: Establecer las relaciones entre los criterios.
- Etapas 3: Obtención del MCD.
- Etapas 4: Realizar el análisis estático.
- Etapas 5: Procesar evaluación de los practicantes.

A continuación se realiza una descripción de las etapas del modelo:

- Etapas 1: Identificar los criterios valorativos
La identificación de los criterios valorativos se basa en la identificación de las habilidades presentes en el programa de formación del ingeniero automático.
Debe garantizar que:
Los criterios identificados cumplan con la condición expresada en la ecuación (1).

$$C = \{C_1 \dots C_n\} (n \geq 2) \quad (1)$$

El dominio de criterios C sea finito.

- Etapas 2: Establecer las relaciones entre los criterios.
Basado en la utilización de un enfoque multiexperto con una participación recomendada de 7 a 13 expertos en el área de conocimiento del objeto de estudio, son expresadas las relaciones causales por cada experto integrándose los modelos mentales individuales en un único modelo agregado (Kosko, 1988), tal como expresa la ecuación (2).

$$VA = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij}}{E} \quad (2)$$

- Donde:
VA: valor agregado.
E: cantidad de expertos que participan en el proceso.
W_{ij}: vector de correlación expresado por los expertos para los criterios C_{ij}.

La agregación de conocimiento permite mejorar la fiabilidad del modelo final, al hacerlo menos susceptible a errores (Stach, Kurgan, & Pedrycz, 2010). Se le pide a cada uno que formule la correlación de los criterios para lo cual se toma la escala

propuesta en Tabla 1, que visualiza el dominio de valores (-1; 1) donde los valores positivos expresan la implicación directa y los valores negativos la implicación inversa.

Tabla 2: Dominio de valores para expresar causalidad (Pérez, 2014)

Valor	Impacto
1	Negativamente muy fuerte (NMF)
-0,75	Negativamente fuerte (NF)
-0,50	Negativamente media (NM)
-0,25	Negativamente débil (ND)
0	Sin importancia
0,25	Positivamente débil (PD)
0,50	Positivamente media (PM)
0,75	Positivamente fuerte (PF)
1	Positivamente muy fuerte (PMF)

Durante el proceso de agregación se obtiene un arreglo denominado matriz de adyacencia que es representada a partir de los valores asignados a los arcos, puede ser expresada como:

$$M = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & W_{ij} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

La matriz de adyacencia $M=M(C_i C_j)$ representa el valor causal de la función del arco, el nodo C_i que es imparte $C_j C_i$, Incrementa causalmente a C_j si $M_{ij} = -1$, y no imparte causalmente sí $M_{ij} = 0$.

- Etapas 3: Obtención del MCD.
Los Mapas Cognitivos Difusos (MCD) son modelos difusos con retroalimentación para representar causalidad (Glykas & Groumpos, 2010). Existen diferentes tipos de causalidad que son expresadas de forma gráfica, donde cada modelo causal se puede representar por un grafo (Goodier, Austin, & Soetanto, 2010), tal como visualiza la Figura 1.

Los valores agregados emitidos por los expertos agrupados mediante la matriz de adyacencia, conforman las relaciones con los pesos de los nodos, a través del cual es generado el Mapa Cognitivo Difuso resultante (White & Mazlack, 2011).

Modelo multicriterio multiexperto utilizando Mapa Cognitivo Difuso para la evaluación de competencias.

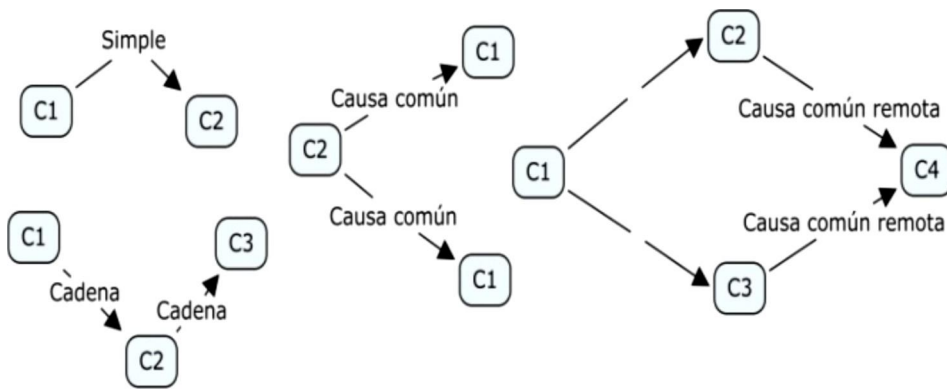


Figura 1. Ejemplo grafos causales

Etapa 4:

Realizar el análisis estático.

El análisis estático permite obtener la centralidad conceptual causal de los Mapas Cognitivos Difusos, se obtiene a partir de las relaciones expresadas en la matriz de adyacencia. Los parámetros modelados son grado de salida od_i , grado de entrada id_i y la centralidad C_i (Salmeron, 2009). Mediante las ecuaciones (3, 4, 5) se obtienen los parámetros modelados.

Grado de salida obtenido mediante la ecuación (3)

$$od_i = \sum_{j=1}^n \|I_{ij}\| \quad (3)$$

Grado de entrada obtenido mediante la ecuación (4)

$$id_i = \sum_{j=1}^n \|I_{ji}\| \quad (4)$$

Centralidad obtenido mediante la ecuación (5)

$$C_i = od_i + id_i \quad (5)$$

Etapa 5:

Procesar evaluación de los practicantes.

Para el proceso de evaluación, se emplea un formulario elaborado con anterioridad con un grupo de preguntas propuestas con sus respectivos resultados que son evaluadas mediante una escala numérica de modo que cumpla con la ecuación (6):

$$P \in [0,1] \text{ y } \sum_{j=1}^n P_j = 1 \quad (6)$$

Donde:

P : es la preferencia obtenida como evaluación a la respuesta del cuestionario. Del proceso de normalización se obtiene como resultado un vector de activación

que posee una correspondencia con las competencias presentes en el ejercicio que es evaluado.

El procesamiento decisional es realizado mediante el operador de agregación de información OWA, Ordered Weighted Averaging, Media Ponderada Ordenada (Yager, 1988). Este método propuesto unifica los criterios clásicos de decisión de incertidumbre en una expresión (Filev & Yager, 1998). Durante el proceso de agregación de la información con el empleo de la función de importancia descrita en la ecuación (7), es calculado el vector de competencias.

$$F(p_1, p_2, \dots, p_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (7)$$

Donde:

P : conjunto de preferencias

$$P = \{p_1, \dots, p_n\}$$

sobre la evaluación de las preguntas realizadas por los estudiantes a los cuestionarios.

b_j : es el j -ésimo más grande de los p_j ordenados.

Con el resultado procesado por la función de importancia, se tiene el vector inicial de activación para la simulación y se plantea un sistema de representación del conocimiento basado en un árbol de decisión (González, 2013). La Figura 2 muestra el árbol de decisión de inferencias mediante el cual es posible expresar un conjunto de reglas para la clasificación de competencias (Soler & Kok, 2011).

Para realizar el proceso de simulación del escenario, los nuevos valores de los conceptos expresan la influencia de los conceptos interconectados al concepto específico y se calcula de acuerdo a la ecuación (8) de la siguiente manera (Glykas, 2010):

$$A_i^{(k+1)} = f\left(A_i^{(k)} \sum_{i=1; j \neq i}^n A_j^{(k)} * W_{ji}\right) \quad (8)$$

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 (Giordano & Vurro, 2010).

Resultados y discusión

El análisis de escenarios presenta múltiples aplicaciones, puede ser empleado (Jetter & Schweinfart, 2011), para explorar las proyecciones futuras de un determinado comportamiento, y por consiguiente, para la evaluación y predicción de competencias en una persona (Pajares & Guajardo, 2010).

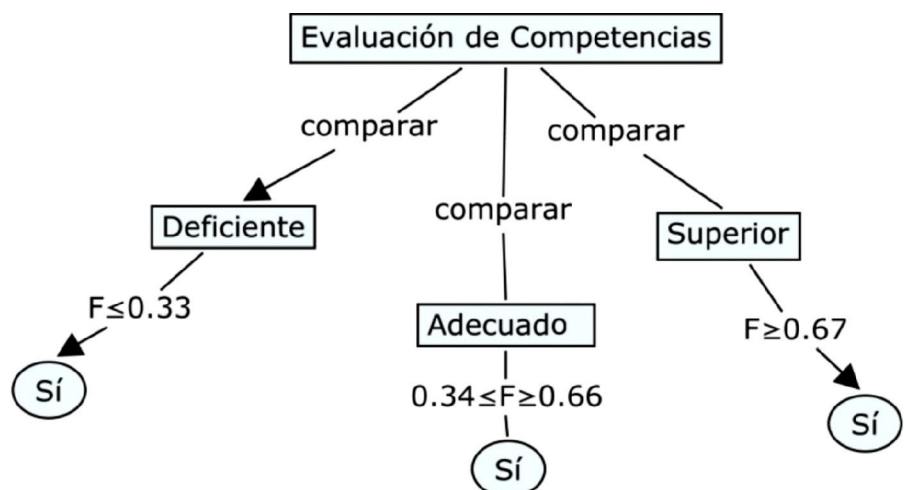


Figura 2: Árbol de decisión

El análisis de casos permite determinar el comportamiento de las diferentes alternativas. Para el modelo propuesto se implementa sobre el Sistema de Laboratorios a Distancias donde se procesa un ejemplo de utilización como caso de estudio, desarrollado con un estudiante seleccionado en la Universidad Central de las Villas. A continuación se describen los resultados obtenidos:

Etapas 1:

Seleccionar los criterios evaluativos.

La evaluación por competencias en el sistema educacionales es un proceso relativamente nuevo (Vila & Sánchez, 2011). El proceso de selección de los criterios evaluativos está condicionado por el área del conocimiento en que se enmarca el diagnóstico a realizar (Danienson, 2011), aunque son numerosos los autores que proponen indicadores evaluativos (E. Rodríguez, Martín, & González, 2014), (Hernández & Lorandi, 2013), (M. Salas & Cerón, 2014) para determinar los criterios a valorar en la presente investigación, se utilizaron las competencias propuestas por Santana (Santana, 2012) en su investigación doctoral. Las competencias propuestas se encuentran personalizadas al perfil profesional del Ingeniero Automático. La Tabla 2 visualiza los criterios propuestos.

Etapas 2:

Determinar las relaciones entre los criterios. Para determinar las relaciones causales entre los criterios se utiliza la escala propuesta en la Tabla 1, donde participaron 7 expertos, se obtuvieron los 7 MCD agregando las respuestas mediante la ecuación (2). La Tabla 3 muestra la matriz de adyacencia obtenida como resultado del proceso.

Paso 3:

Obtención del MCD.

El MCD general, expresa las relaciones causales mediante una gráfica nutrida de las

valoraciones emitidas por los expertos sobre las causalidades. La Figura 3 visualiza las relaciones causales obtenidas en la matriz de adyacencias Tabla 3.

Etapas 4:

Análisis estático.

Teniendo en cuenta la base de conocimiento almacenada en la matriz de adyacencia

Tabla 3, aplicando la función (3), (4), (5). Se obtiene el comportamiento estático sobre los criterios valorativos tal como muestra la Tabla 4.

El conocimiento esencial del análisis estático realizado de los criterios evaluativos, expresa que los tres indicadores de mayor preferencia en orden descendente son:

Tabla 3: Matriz de adyacencia resultante

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0.00	0.75	0.71	1.00	0.96	0.92	0.75
C2	0.39	0.00	0.50	1.00	0.50	0.96	0.50
C3	0.32	0.92	0.00	0.92	0.50	0.96	0.50
C4	0.32	0.50	0.75	0.00	0.75	0.75	0.50
C5	0.89	0.50	0.75	0.75	0.00	1.00	0.50
C6	0.78	1.00	0.92	0.96	0.96	0.00	0.50
C7	0.25	0.75	0.75	1.00	0.75	0.50	0.00

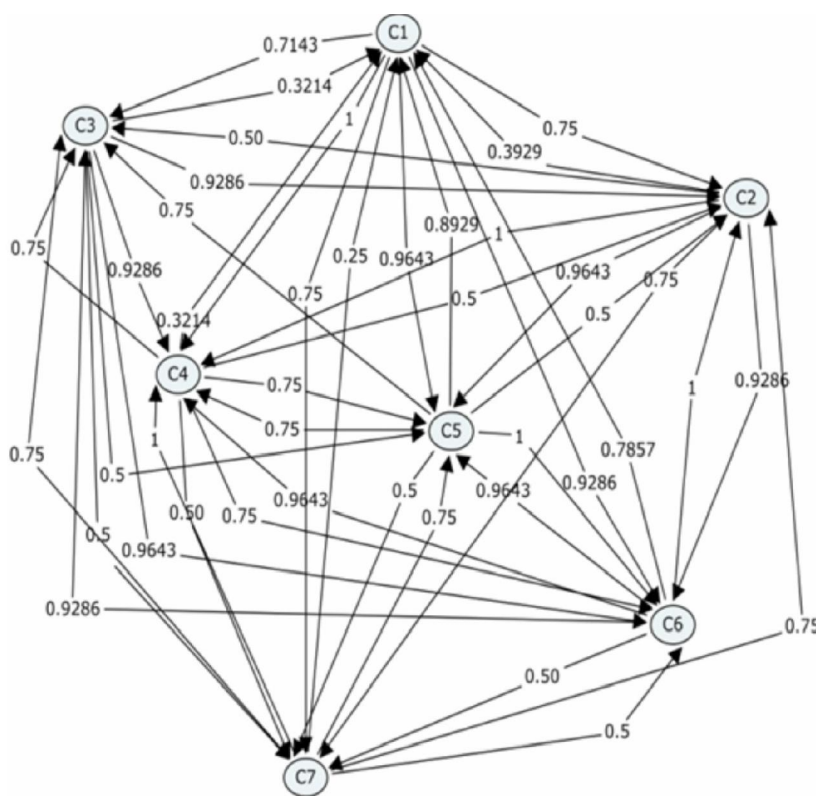


Figura 3. Modelo del Mapa Cognitivo Difuso resultante

Tabla 2: Criterios valorativos

Nodo	Concepto
C1	Fundamentos de los automatismos y métodos de control.
C2	Capacidad para modelar y simular sistemas.
C3	Regulación automática y técnicas de control.
C4	Principio y aplicación de los sistemas robotizados.
C5	Conocimiento aplicado de informática industrial y comunicaciones.
C6	Diseño de sistemas de control Automatizado.
C7	Principios de la regulación automática y sus aplicaciones a la automática industrial.

diseño de sistemas de control automatizado, principio y aplicación de los sistemas robotizados, conocimiento aplicado de informática industrial y comunicaciones.

Etapas 5:

Procesar evaluación de los practicantes. En el proceso de evaluación, se recibe como información de entrada los resultados emitidos de los formulario que son evaluadas mediante una escala numérica normalizada dándose como resultado una función de

Tabla 4: Comportamiento estático

No	Indicadores	id	od	c
6	Diseño de sistemas de control Automatizado.	5.11	5.14	10.25
4	Principio y aplicación de los sistemas robotizados.	5.64	3.57	9.214
5	Conocimiento aplicado de informática industrial y comunicaciones.	4.43	4.39	8.821
3	Regulación automática y técnicas de control.	4.39	4.14	8.535
2	Capacidad para modelar y simular sistemas.	4.43	3.86	8.285
1	Fundamentos de los automatismos y métodos de control.	2.96	5.11	8.071
7	Principios de la regulación automática y sus aplicaciones a la automática industrial.	3.25	4.00	7.250

preferencia a través de la ecuación (7) con los vectores de pesos obtenidos mediante el grado de salida od normalizado de la Tabla 4 dando como resultado el vector de activación inicial. La Tabla 5 muestra los resultados de la evaluación al caso de estudio.

Después de realizar el proceso de inferencias decisional sobre el conjunto de reglas derivadas del árbol de decisión definida en la Figura 2, se obtiene como resultado un índice de competencia de un 0.48 considerado como adecuado índice de competencias. Se propone que el usuario pueda acceder a las prácticas de control que solicite.

Utilizando el vector inicial que representa el escenario $C0 = [0.170; 0.169; 0.072; 0.034; 0.033; 0; 0]$, se realiza el proceso de simulación de escenario mediante la ecuación (8) a través de la función $f(x) = \tanh(x)$. Para el caso de estudio se obtiene un atractor en la iteración 6.

El vector que representa los valores alcanzados por los conceptos en la región

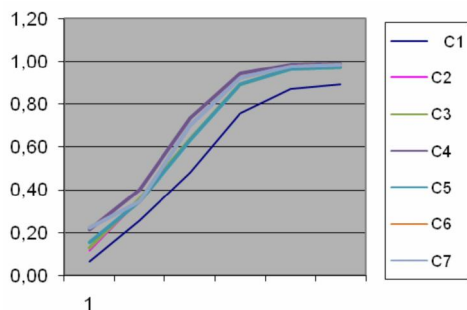


Figura 4. Representación gráfica de la simulación

de equilibrio está representado por $C7 = [0.89; 0.97; 0.97; 0.99; 0.97; 0.98; 0.98]$ representa un escenario muy favorable. La Figura 4 representa la tendencia de comportamiento por cada uno de los conceptos durante la simulación.

Conclusiones

Una vez concluida la investigación, se obtuvo un modelo para la evaluación de competencias basado en un enfoque multicriterio multiexperto.

Mediante la implementación del modelo propuesto, fue posible la obtención del Mapa Cognitivo Difuso agregado con la representación de las relaciones causales sobre los criterios definidos para la evaluación de competencias.

Con la aplicación de un estudio de caso fue posible demostrar la aplicabilidad del modelo posibilitando predecir un patrón de comportamiento calculando el nivel de competencia del estudiante practicante determinando la condición de acceso a los recursos del SLD.

Bibliografía

Bueno, S., & Salmerón, J. (2009). Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps. *Expert Systems with Applications*, Vol. 36(No. 3), 5221-5229.

Danienson, C. (2011). Competencias docentes: desarrollo, apoyo y evaluación. *Serie Documental de Preal*(No.51).

Filev, D., & Yager, R. (1998). On the issue of obtaining OWA operator weights. *Fuzzy Sets and Systems, Man and Cybernetics*, IEEE Transactions on, Vol. 94 (No.2), 157-169.

Giordano, R., & Vurro, M. (2010). Fuzzy cognitive map to support conflict analysis in drought management fuzzy cognitive maps. Grecia: Springer-Verlag, En M. Glykas. *Fuzzy cognitive maps. Studies in fuzziness and soft computing*, 403-425.

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

Glykas, M., & Groumos, P. (2010). *Fuzzy Cognitive Maps: Basic Theories and Their Application to Complex Systems* Fuzzy Cognitive Maps Springer Berlin / Heidelberg., Vol. 247, 1-22.

González, J. (2013). Propuesta de algoritmo de clasificación genética. *RCI*, Vol. 4 (No.2), 37-42.

Goodier, C., Austin, S., & Soetanto, R. (2010). Causal mapping and scenario building with multiple organizations. *Futures*, Vol. 42(No.3), 219-229.

Grajales, A., & Serrano, E. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul*(No. 36).

Gray, S. (2012). *Fuzzy Cognitive Maps as Representations of Mental Models and Group Beliefs*.

Tabla 5: Análisis dinámico del caso de estudio

Resultado del cuestionario	Vector de importancia	Vector de activación inicial
1; 1; 0.5; 0.25; 0.5; 0; 0	0.17; 0.169; 0.145; 0.137; 0.132; 0.127; 0.118	0.170; 0.169; 0.072; 0.034; 0.033; 0; 0

- Hernández, J., & Lorandi, A. (2013). El uso del portafolio de evidencias de aprendizaje como herramienta para la evaluación por competencias en una asignatura. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*(No.10).
- Jetter, A., & Schweinfurt, W. (2011). Building scenarios with Fuzzy Cognitive Maps: An exploratory study of solar energy. *Futures*, Vol. 43 (No.1), 52-66.
- Kosko, B. (1988). Hidden patterns in combined and adaptive knowledge networks *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol.2 (No.4), 377-393.
- Leyva, M., & Rosado, R. (2012). Modelado y análisis de los factores críticos de éxito de los proyectos de software mediante mapas cognitivos difusos. *Ciencias de la Información*, Vol. 43 (No. 2), 41-46.
- Merigó, J., & Gil, A. (2010). New decision-making techniques and their application in the selection of financial products. *Information Sciences*, Vol.180 (No.11), 2085-2094.
- Pajares, G., & Guajardo, M. (2010). Fuzzy cognitive maps applied to computer vision tasks. *Grecia: Springer-Verlag, Fuzzy cognitive maps*. En M. Glykas. *Studies in fuzziness and soft computing*. 247, 259-289.
- Pérez, K. (2014). Modelo de proceso de logro de consenso en mapas cognitivos difusos para la toma de decisiones en grupo. (Tesis Doctoral).
- Rodríguez, E., Martín, M., & González, C. (2014). Modelos flexibles de formación: una respuesta a las necesidades ACTU. Paper presented at the *Revista del Congreso Internacional de Docencia Universitaria i Innovació (CIDUI)*.
- Rodríguez, J. (2010). Evaluación del desempeño del docente de la unidad educativa prof. fernando ramírez *REVISTA ICONO*, Vol. 2(No.14), 58-70.
- Salas, M., & Cerón, C. (2014). Sistema Web para Evaluar las Competencias mediante Pruebas Objetivas en Educación Superior. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*(No.12).
- Salmeron, J. (2009). Augmented fuzzy cognitive maps for modeling LMS critical success factors. *Knowledge-Based Systems*, Vol.22 (No.4), 275-278.
- Sánchez, B., & Valdés, Y. (2009). Diseño de Sistemas de Información Documental. Consideraciones teóricas *Ciencias de la Información*, Vol.39(No.3).
- Santana, I. (2012). Herramientas para la docencia en automática orientadas hacia la metodología ECTS. (Tesis Doctoral).
- Santos, I. (2009). Modelo de gestión de información digital agraria cubana *Ciencias de la Información*, Vol. 44 (No.2).
- Singh, A. (2011). Architecture value mapping: using fuzzy cognitive maps as a reasoning mechanism for multi-criteria conceptual design evaluation». *Missouri*. (Unpublished PhD Thesis).
- Sokar, I., & Khalifa, Z. (2011). Target Adjustment Based on Trade-off Evaluation Using Fuzzy Cognitive Maps *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol.5(No.12).
- Soler, L., & Kok, G. (2011). Using fuzzy cognitive maps to describe current system dynamics and develop land cover scenarios: a case study in the Brazilian Amazon.
- Stach, W., Kurgan, L., & Pedrycz, W. (2010). Expert-Based and Computational Methods for Developing Fuzzy Cognitive Maps. Berlin: Springer, In M. Glykas (Ed.), *Fuzzy Cognitive Maps* 23- 41.
- Vila, B., & Sánchez, J. (2011). La dimensión pedagógica del enfoque de competencias en educación obligatoria. *ENSAYOS, Revista de la Facultad de Educación de Albacete*(No.26).
- White, E., & Mazlack, D. (2011). Discerning suicide notes causality using fuzzy cognitive maps. *Fuzzy Systems (FUZZ), IEEE International Conference On*.
- Yager, R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, Vol. 18 (No. 1), 183-190

Recibido: 6 de marzo de 2015.
Aprobado en su forma definitiva:
25 de junio de 2015

Omar Mar Cornelio

Universidad de las Ciencias Informáticas
La Habana, Cuba
Correo-e.: omarmar@uci.cu

Maykel Y. Leyva Vázquez

Universidad de las Ciencias Informáticas
La Habana, Cuba
Correo-e.: mleyva@uci.cu

Ivan Santana Ching

Universidad de las Ciencias Informáticas
La Habana, Cuba
Correo-e.: ching@uclv.edu.cu
