

# ANÁLISIS DE MODELOS MENTALES Y SU PAPEL EN LA COMPRESIÓN DE SISTEMAS COMPLEJOS PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

## ANALYSIS OF MENTAL MODELS AND THEIR ROLE IN UNDERSTANDING COMPLEX SYSTEMS FOR ENGINEERING STUDENTS IN COMPUTATIONAL SYSTEMS

Rossana Jacqueline Lucin Arboleda<sup>1</sup> ([rossana.lucina@ug.edu.ec](mailto:rossana.lucina@ug.edu.ec))

Jimmy Ignacio Sornoza Moreira<sup>2</sup> ([jimmy.sornozam@ug.edu.ec](mailto:jimmy.sornozam@ug.edu.ec))

María Carolina Quinzo Bravo<sup>3</sup> ([maria.quinzob@ug.edu.ec](mailto:maria.quinzob@ug.edu.ec))

### RESUMEN

Los modelos causales son instrumentos empleados para comprender y modelar los sistemas complejos. Con el fin de representar computacionalmente el conocimiento causal se debe recurrir a estructuras grafos dirigidas. El objetivo del presente artículo consiste en aplicar el modelo de relación entre los factores críticos, ilustrando las ventajas de los mapas cognitivos difusos en la representación de la causalidad, para la contribución a la comprensión de los sistemas. Se muestra un procedimiento para la obtención de modelos causales. Se presenta adicionalmente un estudio de caso donde se muestra la aplicabilidad de la propuesta y el uso de la computación con palabras, en la representación del conocimiento causal en una situación determinada. Ello facilita la comprensión de sistemas complejos, en especial, la presencia de vaguedad y de retroalimentación.

**PALABRAS CLAVE:** Causalidad, mapas cognitivos difusos, sistemas complejos, pensamiento sistémico.

### ABSTRACT

Causal models are often used for understanding and modeling complex systems. Directed graphs are needed for representing causality. In this the advantages of fuzzy cognitive maps are shown especially in the presence of vagueness and feedback loops. The goal of this work is the application on fuzzy cognitive maps in the modelling of critical success factors shows the advantage of this technique for representing causality through a case study. A procedure for the development of causal models is presented. A case study is developing to show the applicability of the proposal and the advantages of fuzzy cognitive maps and computing with words for understanding complex systems. Future works for extending the use of fuzzy cognitive maps on system thinking are suggested.

---

<sup>1</sup> Máster en Administración de Empresas. Ingeniera en Sistemas Computacionales. Docente de la carrera Ingeniería en Sistemas Computacionales, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Universidad de Guayaquil, Ecuador.

<sup>2</sup> Máster en Sistemas de información Gerencial. Ingeniero en Sistemas Computacionales. Docente de la carrera Ingeniería en Sistemas Computacionales, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Universidad de Guayaquil, Ecuador.

<sup>3</sup> Máster en Sistemas de información Gerencial. Ingeniera en Sistemas Computacionales. Docente de la carrera Ingeniería en Sistemas Computacionales, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Universidad de Guayaquil, Ecuador.

**KEYWORDS:** Causality, fuzzy cognitive maps, complex systems, system thinking.

Los modelos causales son instrumentos empleados frecuentemente para comprender los sistemas complejos (Glykas, 2010; Sharif e Irani, 2006). Para considerar la causalidad desde un punto de vista computacional, se requiere la obtención de modelos causales imprecisos que contemplen la incertidumbre (Puente, 2011).

El razonamiento causal es útil en la toma de decisiones, debido a que resulta natural y fácil de entender. Además, es convincente porque explica el por qué se llega a una conclusión particular. Por tanto, resulta importante para comprender sistemas, en especial para la enseñanza y aprendizaje de asignaturas como Ingeniería de Software.

Una concepción general sobre el aprendizaje representa una herramienta heurística indispensable para el trabajo diario de los docentes; les brinda una comprensión de los complejos y diversos fenómenos que tienen lugar en el aula, y por lo tanto, un fundamento teórico, metodológico y práctico para planificar, organizar, dirigir, desarrollar y evaluar su práctica profesional, en constante perfeccionamiento. Todo ello constituye un requisito básico para que el educador pueda potenciar, de manera científica e intencional los tipos de aprendizajes necesarios que propician en sus estudiantes el crecimiento y enriquecimiento integral de sus recursos como seres humanos, en otras palabras, los aprendizajes desarrolladores (Castellanos, D., Castellanos, B., Llivina y Silverio, 2001; Fernández, Rodríguez, Urquiza, González, Saltos y Gálvez, 2017; Ortiz, Molina y Ortiz, 2017).

En el presente artículo se muestran las ventajas de los mapas cognitivos difusos (Saleh, Rivas, Gómez, Mohsen y Vázquez, 2016) y su utilidad para representar el conocimiento causal. Asimismo, se presenta un procedimiento para la determinación de relaciones causales entre las variables de interés. Se desarrolla un estudio de caso que evidencia la aplicabilidad de la propuesta y una situación práctica en la que se representa la relación entre factores críticos de éxito en la ingeniería de software.

## **Modelos mentales**

Los modelos son representaciones que permiten explicar el cómo deben funcionar los procesos o como están interconectados los elementos, célula de menor orden dentro de ellos. Cada modelo causal (M) puede ser representado por un grafo dirigido  $G(M)$ , denominado grafo causal (Sobrino, 2012). Existen diferentes formas de causalidad que pueden ser expresados de forma gráfica.

El modelado causal resulta importante para entender el proceso de toma de decisiones (Hagmayer y Sloman, 2005), sin embargo dada su utilidad y múltiples aplicaciones prácticas es un área en la que se debe continuar el estudio. La causalidad se ve generalmente como una relación precisa: la misma causa provoca siempre el mismo efecto; pero en la práctica, los enlaces entre causa y efecto son frecuentemente imprecisos o imperfectos por naturaleza (Puente, Olivas y Sobrino, 2010).

Para considerar la causalidad, la cual se ha concebido con una nueva filosofía desde el desarrollo alcanzado por la ingeniería informática, se requiere la obtención de modelos causales imprecisos. Por esto es necesario la utilización de técnicas de *Soft Computing* (Puente, 2011), dentro de las cuales se ubican: las redes bayesianas (RB) y los mapas cognitivos difusos (MCD).

Las técnicas de las RB permiten seleccionar solo las variables que tienen relaciones causales para el cálculo de las probabilidades condicionadas, la cual se define como la ocurrencia de un suceso, dado que otro ha ocurrido con antelación. Sin embargo, estos modelos presentan limitaciones para manejar la existencia de ciclos en las relaciones causales (Zhi-Qiang, 2001). Otra limitación está dada en la dificultad para determinar de manera exacta las probabilidades (Sobrino, 2012) y la falta de usabilidad de la técnica para la interacción con humanos.

En la práctica, es necesario representar el grado de influencia entre conceptos y/o resulta difícil encontrar una relación probabilística. Ante estas circunstancias la lógica difusa resulta una alternativa para representar la causalidad en presencia de vaguedad.

La teoría de los conjuntos difusos o borrosos fue introducida en el año 1965 por Zadeh. La lógica difusa ofrece un marco adecuado para tratar con la causalidad imperfecta, mediante el uso de la vaguedad y la incertidumbre. Para expresar el grado de causalidad entre conceptos se pueden emplear expresiones lingüísticas como "negativamente fuerte", "positivamente fuerte", "negativamente débil", "positivamente débil" (Sokar, Jamaluddin, Abdullah y Khalifa, 2011).

Los MCD (ver figura 3) son una técnica creada por Kosko (Salmeron, 2009b) como una extensión de los mapas cognitivos con la utilización lógica difusa (Kosko, 1986). Mejoran los mapas cognitivos al describir la fortaleza de la relación mediante el empleo de valores borrosos en el intervalo  $[-1,1]$  o más recientemente computación con palabras (CWW) (Rickard, Aisbett y Yager, 2015) y en especial el modelo de 2-tuplas.

La CWW es una metodología que permite realizar un proceso de computación y razonamiento mediante palabras pertenecientes a un lenguaje en lugar de números. Dicha metodología permite crear y enriquecer modelos de decisión en los cuales la información vaga e imprecisa es representada a través de variables lingüísticas interpretables por los expertos.

Un MCD puede ser representado a través de un dígrafo en el cual los nodos representan conceptos y los arcos indican relación causal (Kosko, 1997).

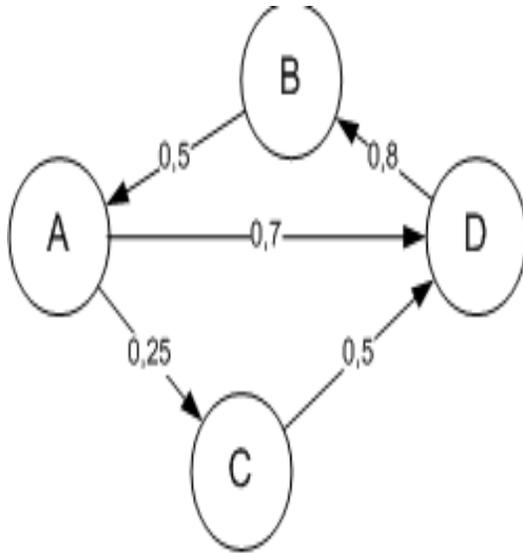


Figura 1. Mapa cognitivo difuso (Leyva, Pérez, Febles y Gulín, 2013).

Los MCD proveen esquemas más realistas para la representación del conocimiento con respecto a las RB (Glykas, 2010; Lin y Lee, 2002; Mazlack, 2009). Entre los elementos que permiten una representación más realista del conocimiento se encuentra la posibilidad de representar ciclos, la vaguedad y la ambigüedad. Además, presentan una mayor usabilidad para obtener conocimiento de los expertos (Ping, 2009). Otra ventaja está dada en la posibilidad de utilizar computación con palabras aumentando la capacidad para la interpretación de estos modelos. Los modelos mentales obtenidos son más cercanos al modo de pensar de los estudiantes.

### Procedimiento para la obtención de modelos causales

La realización del estudio se desarrolló a través de un procedimiento para la obtención de modelos causales y la selección de la técnica de representación de este conocimiento.

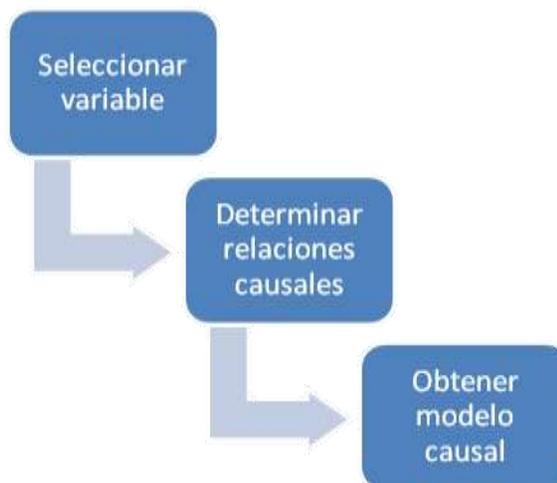


Figura 2. Modelo propuesto.

Actividades correspondientes a los procesos:

1. Seleccionar variables: En esta actividad se seleccionan las variables que se desean incluir. Se recomienda realizar la consulta de expertos.
2. Determinar las relaciones causales existentes entre los conceptos: En esta actividad los expertos son consultados para determinar las relaciones causales existentes entre ellos, mediante el modelo computacional de las 2-tuplas lingüísticas (Herrera y Martínez, 2001).
3. Obtener modelo causal: Existen distintas propuestas para la obtención de modelos causales basados en mapas cognitivos difusos (Ping, 2009; Salmeron, 2009a). En el caso de los mapas cognitivos difusos se sigue la propuesta de Leyva-Vázquez y colaboradores (Leyva, Rosado y Febles, 2012).

Este modelo puede ser empleado en disímiles situaciones prácticas para el modelado de las relaciones causales con la consulta de uno o varios expertos, que pueden ser seleccionados a través del método de coeficiente de competencia (López, Vázquez, Gutiérrez y Benet, s. f.).

### **Estudio de caso**

El estudio de caso está relacionado con la representación de las relaciones entre los factores críticos de éxito en los proyectos de software (Urra, Rodríguez, Concepción y Cañedo, 2006) y en específico aquellos de integración de datos (Leyva, Rosado y Febles, 2012), para la enseñanza de la ingeniería de software. Este caso de estudio tiene su origen en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura Ingeniería de Software.

Situación problemática:

Se desea analizar las relaciones causales existentes entre los siguientes factores: apoyo de la alta gerencia (F1), participación de los usuarios (F2) y el factor tiempo (F3) (ver tabla 1).

Tabla 1. Factores críticos de éxito analizados en el estudio de caso.

<b>Id</b>	<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>
F-1	Apoyo de la alta gerencia	Apoyo de los directivos de la organización que permite contar con la coordinación y los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto.
F-2	Participación de los usuarios	Participación activa de los usuarios finales en el proyecto, especialmente en la definición de los requisitos, la validación y otras tareas.
F-3	Tiempo	Grado en que se da una respuesta a los usuarios de sus necesidades de información.

En la tabla 2 se puede observar el conjunto de etiquetas lingüísticas empleados.

Tabla 2. Términos lingüísticos empleados.

Etiqueta	Descripción
$S_0$	Negativamente muy fuerte (NMF)
$\square_1$	Negativamente fuerte (NF)
$\square_2$	Negativamente media (NM)
$\square_3$	Negativamente débil (ND)
$\square_4$	Cero (C)
$\square_5$	Positivamente débil (PD)
$\square_6$	Positivamente media (PM)
$\square_7$	Positivamente fuerte (PF)
$S_8$	Positivamente muy fuerte (PMF)

En este caso, los expertos determinaron la existencia de distintas relaciones causales. El apoyo de la alta gerencia incrementa la participación de los usuarios y esta disminuye el tiempo de desarrollo, que ocasiona, a su vez, un mayor apoyo a la alta gerencia. Estas relaciones son descritas mediante los términos lingüísticos ya presentados.

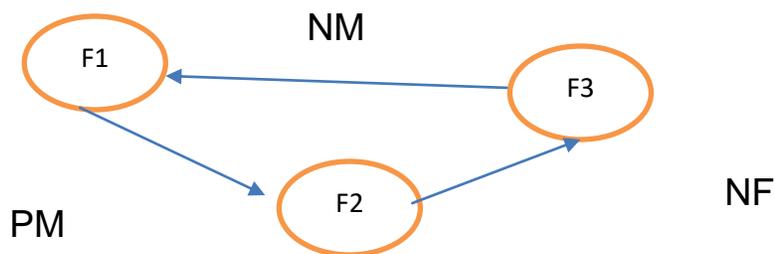


Figura 3. Mapa cognitivo difuso obtenido.

A continuación, se muestra la matriz de adyacencia obtenida (ver tabla 3).

Tabla 3. Matriz de adyacencia.

$\square_4$	$\square_6$	$\square_4$
$\square_4$	$\square_4$	$\square_1$
$\square_2$	$\square_4$	$\square_4$

Como se puede apreciar, en este estudio de caso existen situaciones en que los MCD son la técnica de representación del conocimiento causal adecuada. Una de las ventajas que plantean los expertos es la facilidad que los modelos obtenidos con esta técnica, presentan para ser interpretados. Ello posibilita que los estudiantes puedan entender los modelos causales obtenidos y ser fácilmente interpretables por expertos.

El procedimiento para la obtención de modelos causales haciendo usos de expertos del dominio presentado se aplicó en un caso de estudio asociado al modelado de la relación entre tres factores críticos. Ello ilustra las ventajas de los MCD en la representación de la causalidad en ese caso.

La aplicación a nuevas áreas de la pedagogía y el empleo de métricas de redes complejas para evaluar el conocimiento sistémico de los estudiantes y determinar los cambios generados en los modelos mentales de los estudiantes es otra de las futuras áreas de trabajo. Se desarrollarán adicionalmente medidas de consenso para analizar las divergencias en la percepción de sistemas complejos por los distintos actores y modelos de agrupamiento.

## REFERENCIAS

- Castellanos, D., Castellanos, B., Llivina, M. y Silverio, M. (2001). *Hacia una concepción del aprendizaje desarrollador*. Colección Proyectos La Habana: Instituto Superior Pedagógico "Enrique José Varona".
- Fernández, R. L., Rodríguez, R. C., Urquiza, E. P., González, L. L., Saltos, B. G. y Gálvez, S. S. (2017). La inclusión educativa en la educación a distancia mediante plataformas gestoras. *Medisur*, 15(2).
- Glykas, M. (2010). *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications*. Springer Verlag.
- Hagmayer, Y. y Sloman, S. A. (2005). *Causal models of decision making: choice as intervention*.
- Herrera, F. y Martínez, L. (2001). A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 31(2), pp. 227-234. IEEE.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(1), pp. 65-75.

- Kosko, B. (1997). Fuzzy engineering. *Prentice-Hall, Inc.*
- Leyva, M. Y., Rosado, R. y Febles, A. (2012). Modelado y análisis de los factores críticos de éxito de los proyectos de software mediante mapas cognitivos difusos. *Ciencias de la Información*, 43(2), pp. 41-46.
- Leyva, M., Pérez, K., Febles, A. y Gulín, J. (2013). Técnicas para la representación del conocimiento causal: un estudio de caso en Informática Médica. *Revista Cubana de información en ciencias de la salud*, 24(1), pp. 73-83.
- Lin, C. T. y Lee, S. G. (2002). Neural-network-based fuzzy logic control and decision system. *IEEE*.
- López, R., Vázquez, S., Gutiérrez, M. y Benet, M. (s.f.). El Método Delphi. Experiencia práctica en la determinación de los elementos de cursos a distancia. *V Congreso Internacional de Telemática y Telecomunicaciones*.
- Mazlack, L. J. (2009). Representing Causality Using Fuzzy Cognitive Maps.
- Ortiz, G. G., Molina, M. A. y Ortiz, W. A. (2017). Análisis de interrelaciones en las competencias de los ingenieros en sistemas, mediante el empleo de mapas cognitivos difusos. *Opuntia Brava*, 9(3). Recuperado de <http://opuntibrava.ult.edu.cu>
- Puente, C., Olivas, J. A. y Sobrino, A. (2010). Estudio de las relaciones causales. *Anales de mecánica y electricidad*, 87, pp. 54-59.
- Puente, C. (2011). Causality in Science. *Pensamiento Matemático*, (1), p.12.
- Ping, C. W. (2009). A Methodology for Constructing Causal Knowledge Model from Fuzzy Cognitive Map to Bayesian Belief Network: Chonnam National University.
- Rickard, J. T., Aisbett, J. y Yager, R. R. (2015). Computing With Words in fuzzy cognitive maps. Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS) held jointly with 2015. 5th World Conference on Soft Computing (WConSC). *Annual Conference of the North American*.
- Saleh, S. H., Rivas, D. L., Gomez, M. M., Mohsen, F. S. y Vázquez, M. L. (2016). Representación del conocimiento mediante mapas cognitivos difusos y conjuntos de términos lingüísticos difusos dudosos en la biomedicina [Knowledge representation using fuzzy cognitive maps and hesitant fuzzy linguistic term sets]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17(1), p. 312.
- Salmeron, J. L. (2009a). Augmented fuzzy cognitive maps for modelling LMS critical success factors. *Knowledge-Based Systems*, 22(4), pp. 275-278.
- Salmeron, J. L. (2009b). Supporting decision makers with Fuzzy Cognitive Maps. *Industrial Research Institute*, pp. 53-59.
- Sharif, A. e Irani, Z. (2006). *Applying a fuzzy-morphological approach to complexity within management decision making*. Emerald Group Publishing Limited.
- Sobrino, A. (2012). Imperfect Causality: Combining Experimentation and Theory. En E. Trillas, P. P. Bonissone, Magdalena L., J. Kacprzyk (editors). *Studies in Fuzziness and Soft Computing* (pp. 371-389.). Springer Berlin: Heidelberg.

- Sokar, I. Y., Jamaluddin, M. Y., Abdullah, M. y Khalifa, Z. A. (2011). KPIs Target Adjustment Based on Trade-off Evaluation Using Fuzzy Cognitive Maps. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12), pp. 2048-2053.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), pp. 338-353.
- Zhi-Qiang, L. (2001). Causation, bayesian networks, and cognitive maps. *Acta Automática Sílica*, 27(4), pp. 552-566.
- Urra, P., Rodríguez, K., Concepción, C. M. y Cañedo, R. (2006). Intranet del Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas-Infomed: un espacio de trabajo en red para el Sistema de Información en Salud de Cuba. *Acimed*, 14, p.18.