



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.  
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898473*

RFC: AT1120618V12

**Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.**

<http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/>

**Año: VII      Número: Edición Especial      Artículo no.:41      Período: Noviembre, 2019.**

**TÍTULO:** Propuesta para el modelado y análisis de los indicadores de ciencia y tecnología.

**AUTORES:**

1. Máster. Glenda Cecibel Intriago Alcívar.
2. Máster. Dinora Alexandra Carpio Vera.
3. Máster. Alex Vladimir Toapanta Suntaxi.
4. Dr. Augusto Franklin Mendiburu Rojas.

**RESUMEN:** La toma de decisiones en materia de política científica, tecnológica y de innovación ha ido adquiriendo una creciente complejidad requiriendo de nuevos métodos para su formulación y seguimiento. En el presente trabajo se propone una metodología para análisis de indicadores de ciencia y tecnología como ayuda a la toma de decisiones y el diseño de políticas organizacionales. Esta metodología se basa en el modelado de las relaciones causales entre indicadores mediante mapas cognitivos difusos y en el posterior análisis estático. Se utilizan distintas medidas de centralidad para determinar la importancia de los nodos dentro del mapa. La metodología brinda importantes resultados en la aplicación en la toma de decisiones y el diseño de políticas en materia de ciencia y tecnología.

**PALABRAS CLAVES:** Indicadores de ciencia y tecnología, mapas cognitivos difusos, relaciones causales.

**TITLE:** Proposal for modelling and analysis of science and technology indicators.

**AUTHORS:**

1. Máster. Glenda Cecibel Intriago Alcívar.
2. Máster. Dinora Alexandra Carpio Vera.
3. Máster. Alex Vladimir Toapanta Suntaxi.
4. Dr. Augusto Franklin Mendiburu Rojas.

**ABSTRACT:** Decision making in science and technology is a complex task due to the multiple intervening factors. In the present paper, a methodology for science and technology indicator analysis for organizational decision-making purpose is presented. This methodology is based on the modeling of causal relations among indicators through fuzzy cognitive maps and its statics analysis. For static analysis a node centrality composite indicator based on is proposed. The methodology shows significant results for the application of fuzzy cognitive maps in science and technology decision making and policy conception.

**KEY WORDS:** Science a technology indicator, fuzzy cognitive maps, causals relations.

**INTRODUCCIÓN.**

El conocimiento científico y tecnológico se ha convertido en uno de los principales impulsores del desarrollo social y económico a escala mundial. La toma de decisiones y la definición de políticas en materia de ciencia, tecnología e innovación ha ido adquiriendo una creciente complejidad, debido a los múltiples elementos que intervienen en ella. La necesidad de indicadores para dilucidar lo que ocurre con el sistema científico y tecnológico resulta de gran importancia. Es por ello que los indicadores de Ciencia y Tecnología (CT) han acaparado una creciente atención (Hicks, Wouters, Waltman, de Rijcke, & Rafols, 2015).

En los sistemas de indicadores se presentan distintos problemas de los cuales no escapan los indicadores de CT, como son, la falta de modelado predictivo y el análisis de las interrelaciones causales y su naturaleza dinámica (Chytas, Glykas, & Valiris, 2011). El modelado de las relaciones causales entre indicadores brinda la posibilidad de analizar la dinámica de las relaciones.

Una técnica empleada para el modelado de las relaciones entre indicadores son los mapas cognitivos difusos o borrosos (MCD) (Leyva-Vázquez, Pérez-Teruel, Febles-Estrada, & Gulín-González, 2013). Mediante el uso de esta técnica se genera un grafo con valores difusos que describen las interacciones causales. En el caso de la aplicación de MCD no se han explotado las posibilidades que brinda para determinar la importancia de los indicadores.

En el presente artículo tiene como objetivo exponer una metodología para modelar las relaciones causales entre indicadores, especialmente los de CT utilizando MCD, y posteriormente realizar análisis. El artículo está estructurado de la siguiente forma: a continuación, se presenta el marco teórico. En concreto se discute lo relacionado con los indicadores de CT y los mapas cognitivos difusos. El trabajo continúa con la metodología propuesta. Se finaliza con las conclusiones y trabajos futuros en el apartado 4.

## **DESARROLLO.**

### **Los indicadores de Ciencia y Tecnología.**

Se denomina indicador a una observación empírica que sintetiza aspectos de un fenómeno que resulta importante para uno o más propósitos analíticos y prácticos. Aunque el término indicador puede aludir a cualquier característica observable de un fenómeno, suele aplicarse a aquellas que son susceptibles de expresión.

Los indicadores pueden ser clasificado de forma siguiente (Maridueña Arroyave, Leyva Vazquez, & Flebes Estrada, 2016):

### *Actividad científica.*

- Productividad (Producción Primaria): Número de artículos científicos publicados por la institución.

### *Impacto.*

- Impacto de las revistas: Este indicador facilita la identificación de las revistas de mayor impacto por temática, lo que permite a la universidad enfocar las publicaciones hacia las revistas con mayor valor en este indicador. La fórmula utilizada por el ISI (Institute for Scientific Information) para obtener el factor de impacto de una revista es el número de citas realizadas a artículos publicados en una revista en un período determinado dividido por el total de artículos de esa revista
- Factor de Impacto Relativo (FIR): Permite definir a que «distancia» se encuentran las instituciones que investiguen sobre la misma línea temática. Podría ser básicamente la comparación entre los índices de especialización temática. Determina qué impacto tendrían las investigaciones que se realizan en una organización con respecto a las realizadas en otras instituciones
- Cantidad de citas recibidas: Da una visión de la visibilidad de los artículos publicados y por tanto del impacto que los mismos han tenido tanto a nivel nacional como internacional.

### *Colaboración.*

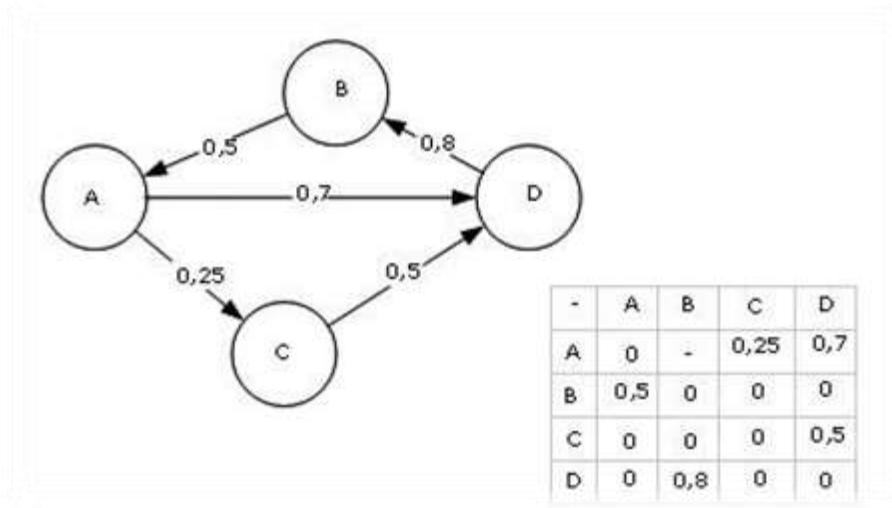
- Índice de coautoría: Este indicador permitiría establecer un promedio de autores por artículo y la relación de países o instituciones que colaboran con la universidad en las diferentes áreas temáticas.

### **Mapas cognitivos y mapas cognitivos difusos.**

Los mapas cognitivos representan el conocimiento causal sin indicar el grado de fortaleza de la relación causa-efecto. Definen y simulan la *dinámica de sistemas* por medio de conocimiento cualitativo (Axelrod, 2015).

Los MCD son una técnica introducida por Kosko (Osoba & Kosko, 2019) como una extensión de los mapas cognitivos (Kosko, 1986). Los MCD mejoran los mapas cognitivos describiendo la fortaleza de la relación mediante el empleo de valores borrosos en el intervalo  $[-1,1]$ . Los nodos son conceptos causales y pueden modelar eventos, acciones, valores, metas. Constituyen una estructura de grafo difuso 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 (Ping, 2009).

Un MCD puede ser representado a través de un dígrafo en el cual los nodos representan conceptos y los arcos indican relación causal. La matriz de adyacencia es obtenida a partir de estos valores asignados a los arcos, tal como se muestra en la Figura 1.



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

Entre los elementos que permiten una representación más realista del conocimiento se encuentra la posibilidad de representar retroalimentación, la influencia del tiempo, la vaguedad y la ambigüedad. Presentan una mayor usabilidad para obtener conocimiento de los expertos. Actualmente, no existe una amplia disponibilidad de herramientas tanto comerciales como libres que den soporte a los MCD.

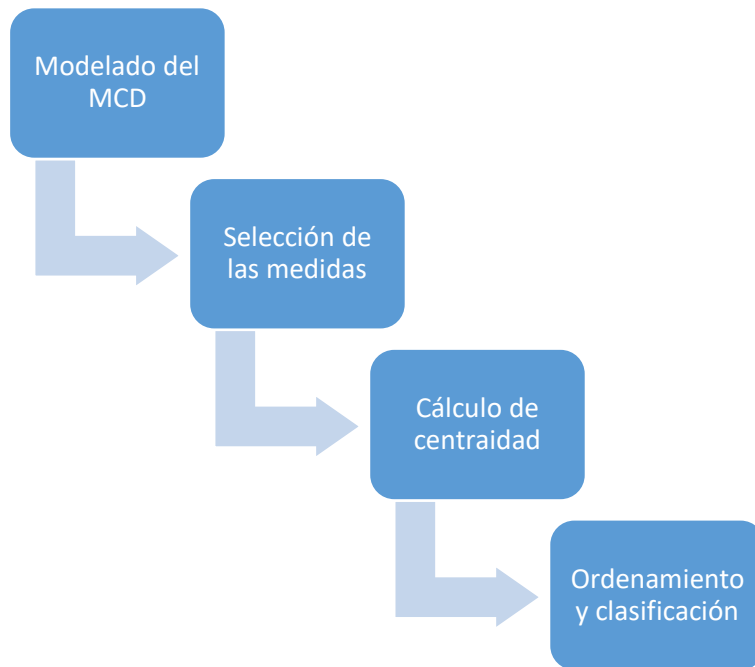
En los MCD existen tres posibles tipos de relaciones causales entre conceptos (González Ortega, Leyva Vázquez, AlcioneSganderla Figueiredo, & Guijarro-Rodríguez, 2018):

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

Los MCD han sido aplicados a un sinnúmero de dominios y áreas entre los cuales podemos destacar la biomedicina (Amirkhani, Papageorgiou, Mohseni, & Mosavi, 2017). Existen propuestas anteriores en el campo de modelado de indicadores, pero estas no toman en consideración la importancia de la clasificación de los nodos.

### **Metodología propuesta.**

La metodología propuesta tiene como objetivo el modelado de las relaciones causales entre indicadores de CT y el análisis estático y dinámico de los mismos. Hace uso de los MCD para el modelado de las relaciones entre indicadores y utiliza expertos para construcción del modelo.



**Figura 2.** Metodología propuesta.

A continuación, se detallan las actividades:

1. **Modelado del MCD:** Se determinan los indicadores de CT que brindarán mayor información para la toma de decisiones y el planteamiento de estrategias. Se determinan las relaciones causales entre los indicadores de CT. Los indicadores constituirán nodos en el MCD, las relaciones causales constituirán las aristas. Esta información será enriquecida con valores numéricos en la siguiente actividad
2. **Selección de las medidas:** Se selecciona el aspecto del MCD o la combinación que se desea analizar. En el presente estudio, se decidió establecer el nivel de fuerza de la conexión entre los nodos para determinar su importancia dentro del mapa.
3. **Cálculo de centralidad:** Se calculan los valores de entrada y salida de los nodos (indegree y outdegree) para determinar la centralidad. De emplearse más de una medida de centralidad se determina un valor compuesto de centralidad mediante la agregación de nuevos valores.

4. Ordenamiento y clasificación: En esta actividad se ordenan los nodos de acuerdo a su importancia en el modelo.

Se representan el MCD como un grafo dirigido ponderado  $(V, E)$ , donde  $V$  es el conjunto de nodos y  $E$  es el conjunto de conexiones entre esos nodos.

Para priorizar los nodos más importantes se determinan la centralidad del factor ( $C_i$ ) a partir de su outdegree ( $od_i$ ) e indegree ( $id_i$ ), teniendo en cuenta la magnitud de los pesos  $C_{ij}$  de la siguiente manera: (Brandes, Borgatti, & Freeman, 2016)

Outdegree  $od(v_i)$  es la suma de las filas en la matriz de adyacencia neutrosófica. Refleja la fortaleza de las relaciones ( $c_{ij}$ ) saliente de la variable.

$$od(v_i) = \sum_{j=1}^N c_{ij} \quad (1)$$

Indegree  $id(v_i)$  es la suma de las columnas Refleja la Fortaleza de las relaciones ( $c_{ij}$ ) saliente de la variable.

$$id(v_i) = \sum_{j=1}^N c_{ji} \quad (2)$$

La centralidad  $C_i$  se calcula a partir de la suma de su grado de entrada ( $id_i$ ) y grado de salida ( $od_i$ ), tal como se expresa en la fórmula siguiente:

$$C_i = id_i + od_i \quad (3)$$

La centralidad en un MCD indica que tan fuertemente está relacionado un nodo con otros, a partir de sus conexiones directas.

Los nodos se clasifican de acuerdo con las siguientes reglas:

- Las variables transmisoras Tienen outdegree positivo y cero indegree.
- Las variables receptoras: Tienen un indegree positivo, y cero outdegree.
- Las variables ordinarias: Tienen un grado de indegree y outdegree distinto de cero.



## **CONCLUSIONES.**

Los indicadores de CT constituyen elementos que guían la toma de decisiones y la definición de políticas organizacionales. Sin embargo, su utilización para la toma de decisiones en las organizaciones ha sido limitado. Este trabajo brinda un soporte metodológico al análisis de las relaciones causales entre indicadores que permite determinar los nodos con mayor importancia del modelo. El mismo contribuye al proceso de toma de decisiones y al diseño de políticas en materia de Ciencia y Tecnología.

Como trabajos futuros se proponen la utilización de algoritmos de búsqueda cuando el espacio de solución sea muy grande. Otra área es el aprendizaje del MCD a partir de información suministrada por expertos y de datos históricos. La inclusión de nuevas medidas de centralidad a partir de la teoría de redes y otros tipos de operadores de agregación constituye otra futura línea de investigación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. Amirkhani, A., Papageorgiou, E. I., Mohseni, A., & Mosavi, M. R. (2017). A review of fuzzy cognitive maps in medicine: Taxonomy, methods, and applications. *Computer methods and programs in biomedicine*, 142, pp.129-145.
2. Maridueña Arroyave, M.R., Leyva Vazquez, M., & Flebes Estrada, A. (2016). Modelado y análisis de indicadores de ciencia y tecnología mediante mapas cognitivos difusos. *Ciencias de la Información*, 47(1), pp.17-24.
3. Axelrod, R. (2015). *Structure of decision: The cognitive maps of political elites*: Princeton university press.
4. Brandes, U., Borgatti, S. P., & Freeman, L. C. (2016). Maintaining the duality of closeness and betweenness centrality. *Social Networks*, Vol.44, pp.153-159.

5. Chytas, P., Glykas, M., & Valiris, G. (2011). A proactive balanced scorecard. *International Journal of Information Management*, 31(5), pp.460-468.
6. Hicks, D., Wouters, P., Waltman, L., de Rijcke, S., & Rafols, I. (2015). El Manifiesto de Leiden sobre indicadores de investigación. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, 10(29), pp.275-280.
7. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(1), pp.65-75.
8. Leyva-Vázquez, M., Pérez-Teruel, K., Febles-Estrada, A., & Gulín-González, J. (2013). Modelo para el análisis de escenarios basado en mapas cognitivos difusos: estudio de caso en software biomédico. *Ingeniería y Universidad*, 17(2), pp.373-390.
9. González Ortega, R., Leyva Vázquez, M., AlcioneSganderla Figueiredo, J. & Guijarro-Rodríguez, A. (2018). Sinos River basin social-environmental prospective assessment of water quality management using fuzzy cognitive maps and neutrosophic AHP-TOPSIS. *Neutrosophic Sets & Systems*, Vol.23.
10. Osoba, O. & Kosko, B. (2019). Beyond DAGs: modeling causal feedback with fuzzy cognitive maps. arXiv. Recovered from: <https://arxiv.org/pdf/1906.11247.pdf>
11. Ping, C. W. (2009). A methodology for constructing causal knowledge model from fuzzy cognitive map to bayesian belief network. Unpublished PhD Thesis, Chonnam National University.

#### **DATOS DE LOS AUTORES.**

1. **Glenda Cecibel Intriago Alcívar.** Magister en Docencia y Currículo. Docente de la Universidad Estatal de Milagro, Ecuador. E-mail: [glendaintriag@gmail.com](mailto:glendaintriag@gmail.com)

2. **Dinora Alexandra Carpio Vera.** Magister en Docencia y Currículo. Docente de la Universidad Estatal de Milagro, Ecuador. E-mail: [dinorha2001@gmail.com](mailto:dinorha2001@gmail.com)
3. **Alex Vladimir Toapanta Sntaxi.** Magister en Administración de Empresas. Docente de la Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. E-mail: [ctctoapanta@hotmail.com](mailto:ctctoapanta@hotmail.com)
4. **Augusto Franklin Mendiburu Rojas.** Doctor en Gestión Pública por la Universidad Nacional de Trujillo. Docente de la Universidad Privada del Norte, Perú. E-mail: [fmendiburu@hotmail.com](mailto:fmendiburu@hotmail.com)

**RECIBIDO:** 2 de octubre de 2019

**APROBADO:** 15 de octubre de 2019