

Modelado y análisis de indicadores de ciencia y tecnología mediante mapas cognitivos difusos

Modeling and analysis of science and technology indicators through fuzzy cognitive maps

Milton Rafael Maridueña Arroyave
Maikel Leyva Vazquez
Ailyn Febles Estrada

La toma de decisiones en materia de política científica, tecnológica y de innovación ha ido adquiriendo una creciente complejidad, debido a los múltiples factores que intervienen en ella. En el siguiente 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 en las organizaciones. Esta metodología se basa en el modelado de las relaciones causales entre indicadores mediante mapas cognitivos difusos y en el posterior análisis estático y dinámico del modelo. En el caso del análisis estático se utilizan distintas medidas de centralidad para determinar la importancia de los nodos dentro del mapa y se propone la utilización de indicadores compuestos mediante el empleo de operadores OWA. En el caso del análisis dinámico se introducen los operadores OWA basados en la noción de distancia para cuantificar los resultados de la simulación facilitando el análisis dinámico. Se presenta un caso de estudio aplicado al análisis del sistema de indicadores de ciencia y técnica de la Universidad de las Ciencias Informáticas para mostrar la aplicabilidad de la propuesta. La metodología brinda importantes resultados en la aplicación de los Mapas Cognitivos Difusos en la toma de decisiones y el diseño de políticas en materia de ciencia y tecnología.

Palabras clave: Indicadores de ciencia y tecnología, mapas cognitivos difusos, operadores OWA, relaciones causales.

RESUMEN

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 dynamics and statics analysis. For static analysis a node centrality composite indicator based on OWA operators is proposed. OWA operators based on distance are used to quantify scenario analysis. A case study is presented showing the proposal applicability. The methodology shows significant results for the application of fuzzy cognitive maps in science and technology decision making and policy conception.

Keywords: science and technology indicators, fuzzy cognitive maps, OWA operator, causal 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 vital importancia (Grupp and Moge 2004; Yang, Li et al. 2010). En este sentido los indicadores de Ciencia y Tecnología (CT) han acaparado una creciente atención (Freeman and Soete 2009).

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 (Chytas, Glykas et al. 2011), y el análisis de las interrelaciones causales y su naturaleza dinámica (Santos, Belton et al. 2002). El modelado de las relaciones causales entre indicadores brinda la posibilidad de analizar la dinámica de las relaciones. Recientemente ha existido un creciente interés en la temática, destacándose la utilización de la dinámica de sistemas vinculado al balanced scorecard (Akkermans and van Oorschot 2002; Barnabè 2011; Lee and Yang 2011; Nielsen and Nielsen 2015). Sin embargo las interrelaciones entre indicadores de CT continúa siendo un área poco explorada.

Una técnica empleada para el modelado de las relaciones entre indicadores son los mapas cognitivos difusos (MCD) (Sokar, Jamaluddin et al. 2011; Yousef 2014). 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, ni se cuantifican los resultados de la simulación de manera tal que se pueda facilitar el ordenamiento de los distintos escenarios. 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 estático y dinámico de los mismos. Se introduce el concepto de indicador compuesto de centralidad para determinar el nodo más

importante del modelo mediante la agregación de distintas medidas de centralidad empleando operadores OWA y un nuevo método para el análisis de escenarios utilizando MCD.

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, los mapas cognitivos difusos y los operadores OWA. El trabajo continúa en el apartado 2 con la metodología propuesta. En el apartado 3 se presenta un caso de estudio. Se finaliza con las conclusiones y trabajos futuros en el apartado 4.

Los indicadores de Ciencia y Tecnología

En términos generales, 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 matemática (García Díaz 1997).

Los indicadores de Ciencia y Tecnología

En términos generales, 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 matemática (García Díaz 1997).

Los indicadores de Ciencia y Tecnología, o indicadores cuantitativos, son estándares establecidos para el seguimiento y análisis de las actividades de Investigación-Desarrollo (I+D). Miden de una forma cuantitativa el cambio tecnológico que se está experimentando al proporcionar medidas útiles de la amplitud y orientación de la I+D en diversos países, sectores, industrias, campos científicos y otras categorías de clasificación (Sancho 2001). Basados en este tipo de indicadores se pueden implementar sistemas informáticos que permitan medir el impacto de la actividad

científica en centros, organismos, entidades y países a través de sus resultados. Cada centro puede definir sus propios indicadores según su objeto social, en el caso de Cuba muchas organizaciones y entidades académicas han establecido indicadores cuantitativos. El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), como entidad rectora de la actividad de CTI en Cuba, estableció el siguiente grupo de indicadores:

- La visibilidad, que se mide según la cantidad de artículos científicos publicados y la cantidad de trabajos presentados en eventos.
- La relevancia, medible a través de la cantidad de premios obtenidos.
- El impacto, medible a través de los ingresos obtenidos como resultado de la actividad científica y de la cantidad de resultados introducidos.
- La pertinencia, medible a través de la participación en proyectos financiados.
- La tecnología, medible a través de la cantidad de patentes y registros realizados. El desarrollo de la Internet ha facilitado que estos resultados sean publicados en forma de ranking por diferentes instituciones que realizan estudios cuantitativos (Buela-Casal, Gutiérrez-Martínez et al. 2007). De manera general los indicadores utilizados por estos sistemas varían en la forma en la que son calculados, según la idiosincrasia de cada entidad, sin que estas diferencias influyan de manera considerable en los resultados obtenidos. Algunos de los más utilizados son:

Actividad científica

- Productividad (Producción Primaria): Número de artículos científicos publicados por la institución.
- Índice de Especialización Temática (IET): Refleja la actividad en un área temática determinada a través del nivel de especialización, entendida como el esfuerzo relativo que una comunidad o institución dedica a una disciplina o área temática. Se utiliza, en consecuencia, para detectar fortalezas o debilidades en los perfiles de especialización temática de las instituciones y permite especificar las disciplinas punteras

o productivas en un determinado dominio. El área temática puede determinarse según el análisis de los resúmenes de los artículos. El índice puede ser calculado según la relación entre la cantidad de artículos científicos publicados en cada disciplina y la cantidad total de artículos publicados.

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 (Rueda-Clausen Gómez, Villa-Roel Gutiérrez et al. 2010).

- **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 Difusos

Los MCD son modelos difusos con retroalimentación para representar causalidad. Combinan herramientas teóricas de los mapas cognitivos, la lógica difusa, las redes neuronales, las redes semánticas, los sistemas expertos y los sistemas dinámicos no lineales (Lin and Lee 2002;

Mazlack 2009; Glykas 2010).

Esta técnica permite modelar el sistema con retroalimentación con grados difusos de causalidad en el intervalo $[0, 1]$. En el diagrama cada nodo representa un conjunto difuso o evento que ocurre en algún grado. Los nodos son conceptos causales y pueden modelar eventos, acciones, valores, metas o procesos. Con la utilización de esta técnica se obtienen además los beneficios de modelado visual, la simulación y la predicción (Salmeron 2009; Leyva Vázquez, Pérez Teruel et al. 2013).

En los MCD existen tres posibles tipos de relaciones causales entre conceptos:

- **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 .

Un MCD puede ser representado a través de un grafo dirigido en el cual los nodos representan conceptos y los arcos indican relaciones causales. La intensidad de la relación causal es representada mediante valores difusos (Peña, Sossa et al. 2007).

Los valores de los conceptos son calculados en cada paso de la simulación. De acuerdo al vector inicial, el MCD convergerá a un punto fijo, ciclo límite o atractor caótico. La influencia de los conceptos interconectados al concepto específico se calcula de acuerdo a la siguiente regla de cálculo:

$$A_i^{(K+1)} = f \left(A_i^{(K)} + \sum_{i=1, i \neq j}^n A_i^{(K)} \cdot W_{ij} \right) \quad (1)$$

En el caso del análisis de indicadores se han propuesto la utilización de los MCD para la creación de cuadros de mando proactivos (proactive balanced scorecard) (Chytas, Glykas et al. 2011), medición del rendimiento en cadenas de suministro (Chen and Wang 2006), para el ajuste de las metas de los

indicadores claves de rendimiento (KPI por sus siglas en inglés) (Sokar, Jamaluddin et al. 2011) y en el análisis causal de los mapas estratégicos tecnológicos (Yousef 2014).

El análisis estático de los MCD se ha centrado fundamentalmente en la búsqueda de la centralidad de los nodos mediante una única medida. Sin embargo propuestas recientes apuntan hacia la creación de medidas compuestas de centralidad (Samarasinghea and Strickert 2011; Lara, Espinosa et al. 2015).

Las distintas medidas de centralidad aunque guardan semejanzas miden aspectos diferentes en la redes (Borgatti 2005). Una sola de estas medidas no resume todos los elementos relacionados con la importancia de los nodos. En este sentido resulta pertinente la utilización de indicadores compuestos de centralidad. Los indicadores compuestos son (Saturno 2004): «un tipo particular de indicadores que resumen en un solo número la medición de varios subindicadores». Estos permiten ser empleados para resumir aspectos o problemas complejos y multidimensionales, y ayudar en la toma de decisiones (Munda and Nardo 2003).

Operadores OWA

El operador OWA (ordered weighted averaging, o traducido al español, media ponderada ordenada) es un método de agregación de datos definidos por primera vez por Yager (Yager 1988). Un operador OWA es una función de dimensión n si tiene un vector asociado de dimensión n tal que los componentes satisfacen:

$$1) \quad w_{ij} \in [0, 1]$$

$$2) \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (2)$$

Donde b_j es el j -ésimo más grande de los a_j . Los operadores OWA sobre la noción de distancia (OWAD) (Merigó and Gil-Lafuente 2010; Leyva-Vázquez, Pérez-Teruel et al. 2014), son una extensión de las medidas de distancia utilizando los operadores OWA. Una función OWAD es un operador OWA de dimensión n si tiene un vector de ponderaciones W asociado, con $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

y $w_j \in [0,1]$ tal que

$$OWAD(P, P_k) = \sum_{j=1}^n w_j D_j \quad (3)$$

Donde w_j representa el j -ésimo más grande de de los d_i , y d_i es la distancia individual entre A y B. Para el cálculo de la distancia se utiliza generalmente la distancia euclidiana:

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (4)$$

Yager introduce una medida del grado de *orness* asociado con cualquier vector de peso (R. R. Yager 1996), o el grado que un operador tiende hacia la condición de «or». Se puede interpretar el grado de *orness* en términos de optimismo de la decisión tomada o el grado de aceptación del riesgo (Merigó 2008). Se formula de la siguiente forma:

$$orness(W) = \sum_{j=1}^n \frac{(n-j)w_j}{n-1} \quad (5)$$

El vector de pesos asociada al operador OWA puede ser determinada por un cuantificador regular no decreciente Q (R. R. Yager 1996). Si Q es una Cuantificador Incremental Monotono Regular (RIM por sus siglas en inglés) entonces el valor agregado de la alternativa está dado por , donde es un operador OWA derivado de Q . Los cuantificadores RIM pueden ser empleados para generar los pesos de operador OWA utilizando la siguiente expresión,

$$w_i = Q\left(\frac{i}{n}\right) - Q\left(\frac{i-1}{n}\right) \quad (6)$$

El grado de *orness* asociado con un RIM está dado por el área debajo del cuantificador. (R. R. Yager 1996),

$$orness(Q) = \int_0^1 Q(r) d(r) \quad (7)$$

Considerando la familia de cuantificadores RIM $Q_\alpha(r) = r^\alpha$ el grado de *orness* del cuantificador está dado por la expresión,

$$orness(Q_\alpha) = \int_0^1 r^\alpha dr = \frac{1}{\alpha+1} \quad (8)$$

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

la relaciones entre indicadores y utiliza expertos para construcción del modelo. Se realiza el análisis estático y dinámico con ayuda de una herramienta desarrollada para este fin (figura 2)

A continuación se detallan las actividades:

1. Determinar Indicadores. Se determinan los indicadores de CT que brindarán mayor información para la toma de decisiones y el planteamiento de estrategias.

2. Determinar las relaciones causales entre indicadores. Se determinan las relaciones causales ente los indicadores de CT. Los indicadores constituirán nodos en el MCD y las relaciones causales constituirán las aristas. Esta información será enriquecida con valores numéricos en la siguiente actividad.

3. Asignar valores numéricos a los vértices. Con el fin de construir el modelo se propone la utilización de los expertos. Estos asignan valores a las relaciones causales entre indicadores en dependencia de su intensidad. Se determina además el signo de la relación ya sea negativo o positivo.

4. Análisis. En esta actividad se realiza de análisis estático y dinámico del MCD que se describen a continuación.

5. Mejora continua. Consiste en la realización de ajustes en el MCD de acuerdo a los resultados alcanzados en la simulación y la actualización de los indicadores.

Análisis estático

Para el análisis estático se propone combinar un conjunto de medidas de centralidad con el propósito de determinar la importancia de los nodos dentro del mapa. Los MCD son representados como un grafo dirigido, (V,E) donde V es el conjunto de nodos y E es el conjunto de conexiones entre esos nodos. Las medidas seleccionadas para identificar el nodo más central en un grafo dirigido son: centralidad, intermediación, cercanía y centralidad de vector propio.

a) Centralidad

La centralidad del (C (v)) se calcula a partir de su grado en entrada (id(v)) grado de salida (od(v)), de la siguiente manera:

$$C(v) = id(v) + od(v) \quad (9)$$

Estas en un MCD indican que tan fuertemente conectado está un nodo con otros a partir de sus conexiones directas.

b) Intermediación

La intermediación se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t \in V} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}, \quad (10)$$

Donde σ_{st} representa el número de caminos más corto desde el nodo s hasta el nodo t y es el número de caminos más cortos que pasan de a . En un MCD da una idea de la importancia de un nodo en el flujo de la información (Samarasinghea and Strickert 2011).

c) Cercanía

La cercanía se calcula mediante la siguiente expresión matemática;

$$C_c(V) = \frac{1}{\sum_{t \in V} d_G(v,t)} \quad (11)$$

Donde $t \neq v$ y $d_G(v,t)$ es el camino más corto entre v y t . En el caso de un MCD brinda información sobre cuán rápido se difunde la información de un nodo por la red (Samarasinghea and Strickert 2011).

d) Centralidad por vector propio

Esta medida de centralidad es definida como el vector propio asociado a la matriz adyacente de un grafo (Borgatti 2005). La ecuación que los define es la siguiente:

$$Ax = \lambda x \quad (12)$$

Donde es la matriz de adyacencia del grafo, λ es una constante (el valor propio), y es el vector propio. En el caso de los MCD es una medida de la importancia del nodo en la difusión de la información, teniendo en cuenta la importancia de los nodos con los cuales se comunica.

La agregación de las distintas medidas se realiza con el empleo de operadores OWA. A partir de esta agregación se crea un indicador compuesto de centralidad que resume en un solo número los resultados de los 4 indicadores de centralidad seleccionados y de esta forma se permite establecer la importancia de los nodos.

Análisis de escenarios

El método propuesto para el análisis de

escenarios se muestra gráficamente en la figura 1. En ella se presenta un flujo de trabajo para el análisis de los escenarios utilizando MCD. Presenta como propósito la identificación de las diferentes alternativas para alcanzar un estado futuro. Constituye además un método de planificación estratégica flexible en materia de CTI en las entidades de educación superior. Mediante esta propuesta se puede modelar la interacción entre los distintos factores que conforman los escenarios y su dinámica en el tiempo.

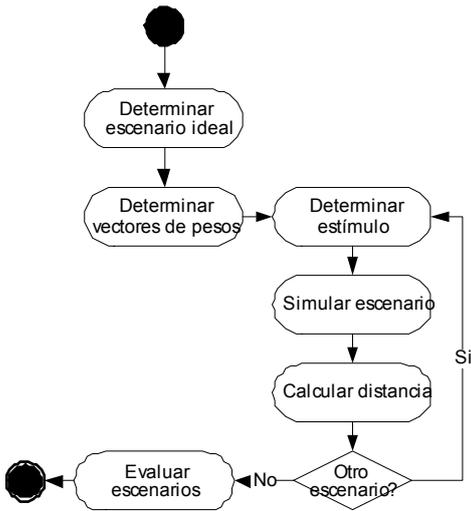


Figura 1: Método propuesto para el análisis de escenarios.

A continuación se describen las actividades:

1. Determinar escenario ideal: Este escenario corresponde con los valores para una alternativa ideal. Se clasifican los nodos obtenidos en dos tipos: costo y beneficio. A los valores para los nodos tipo beneficio se le asigna el mayor valor de activación posible (1) y a los de tipo costo el menor valor de activación (1). El escenario ideal se obtiene de la siguiente forma:

$$I = \{ (v_j = 1 | j \in I^+), (v_j = -1 | j \in I^-) \} \tag{12}$$

$$= [v_1, v_2, \dots, v_m]$$

Donde I^+ y I^- son los conjuntos de criterios de beneficio y costo respectivamente.

1. Determinar vectores de pesos. Se determinan los vectores de los pesos que reflejan la importancia de los nodos y el nivel de optimismo que determine el decisor. El vector correspondiente a la media aritmética define la importancia de los nodos. El grado

de aceptación del riesgo definido por el valor de orness es definido mediante vector asociado al operador OWA.

1. Determinar estímulo. El vector inicial, (\bar{X}^0) , es definido por cada escenario. Este representa el valor inicial de cada nodo en el escenario.

2. Simular escenarios. La simulación de los distintos escenarios se realiza y se obtienen el vector resultante \bar{X}^F en forma de conceptos con distintos niveles de activación después de alcanzar el estado de equilibrio.

3. Calcular distancia. Se calcula la distancia mediante el operador WOWAD. Se emplea el vector resultante de la simulación, el vector que representa el escenario ideal y los vectores de pesos definidos

4. Evaluar escenarios. Los escenarios son evaluados mediante la distancia obtenida en la actividad anterior. Finalmente son ordenados los escenarios siendo los escenarios con un menor valor en la distancia los más deseables.

Caso de Estudio

En Cuba el Ministerio de Educación Superior (MES), de conjunto con algunos Centros de Educación Superior (CES), estableció unos 20 indicadores, los que están agrupados en 5 clasificaciones generales para medir los resultados y las actividades CTI de las universidades: relevancia, ciencia, tecnología, pertinencia e impacto (González Guitián and Molina Piñeiro 2008).

En la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), como universidad joven aún, no podían aplicarse los sistemas ya definidos debido a que ninguno se adapta a las condiciones existentes. De ahí que se creara un nuevo sistema basado en el definido por el CITMA y adaptado a las características específicas. Hasta el momento estos indicadores solo se han utilizado para cuantificar los resultados de la actividad científica. Para un mejor entendimiento de su uso estos se explican a continuación:

1. Premios obtenidos (Relevancia): Este indicador considera los premios nacionales e internacionales obtenidos. Dentro de los nacionales se incluyen los otorgados por

la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) y el CITMA, los obtenidos en el Fórum de Ciencia y Técnica, en la exposición Forjadores del Futuro y en el Concurso Nacional de las BTJ, así como la obtención del sello Forjadores del Futuro.

2. Publicaciones científicas (Visibilidad): En este indicador se mide el impacto de las publicaciones realizadas según los 4 niveles establecidos por el MES, por tanto considera las publicaciones hechas en la Web of Science, en revistas indexadas en las base de datos científicas reconocidas internacionalmente, en revistas científicas nacionales arbitradas, en las memorias de eventos y la publicación de libros.

3. Trabajos presentados en eventos científicos (Visibilidad): Se considera tanto la participación como la aceptación de las ponencias en los eventos internacionales desarrollados en el extranjero y en Cuba.

4. Capacitación recibida y ofertada: Considera los cursos, diplomados, maestrías y doctorados en los que participan los profesionales de la institución, así como los programas propios que se ofertan.

5. Participación en proyectos de I+D: Los proyectos de investigación se clasifican en nacionales, ramales, territoriales, empresariales y universitarios, debido, entre otras características, a la entidad que brinde el financiamiento. Este indicador tiene en cuenta la participación en cada uno de ellos.

6. Patentes y registros (Tecnología): Las patentes representan en mayor medida el producto de la investigación tecnológica y empresarial. Por ello se tiene en cuenta las patentes de invención y modelos de utilidad solicitados y concedidos en Cuba, el registro de productos, equipos, medios no informáticos y de software tanto en Cuba como en el extranjero.

7. Resultados introducidos: Para el caso de la producción de software se consideran resultados introducidos los productos culminados y se le otorgará una puntuación teniendo en cuenta las dimensiones del producto: Grande, medio, pequeño. Los módulos independientes de un producto también pueden ser considerados resultados introducidos mientras sean una parte independiente de otros módulos.

8. Empleo de estudiantes: Mide la actividad científica desarrollada por estudiantes. Tiene en cuenta la participación en eventos y la obtención de premios en los diferentes niveles.

Estos indicadores constituirán nodos del MCD. Posteriormente mediante el empleo de la herramienta informática desarrollada y con ayuda de expertos¹ se determinan las relaciones causales existente entre ellos (Figura 1.). Los valores numéricos representando la intensidad de las relaciones causales entre indicadores son asignados y se determina además el signo de la relación.

Este MCD es representado como una matriz de adyacencia, mostrando las relaciones y sus signos (Tabla I).

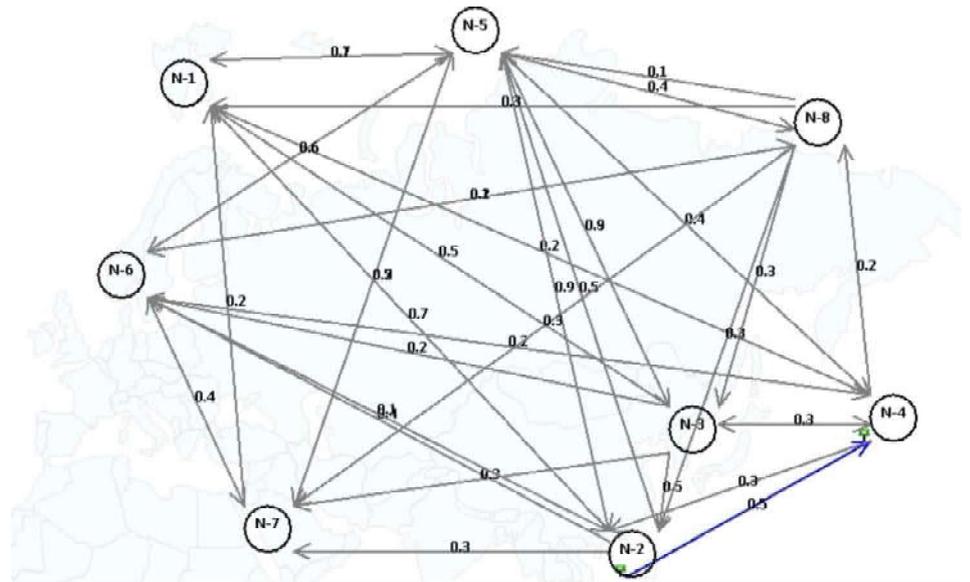


Figura 1. Mapas cognitivos difusos con pesos.

Tabla 1. Matriz de adyacencia.

	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈
N ₁	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
N ₂	0.70	0.00	0.00	0.50	0.50	0.40	0.30	0.20
N ₃	0.00	0.50	0.00	0.30	0.30	0.20	0.20	0.00
N ₄	0.20	0.30	0.30	0.00	0.40	0.00	0.00	0.20
N ₅	0.70	0.90	0.90	0.40	0.00	0.60	0.50	0.40
N ₆	0.00	0.10	0.00	0.20	0.00	0.00	0.40	0.20
N ₇	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.40	0.00	0.00
N ₈	0.30	0.30	0.30	0.00	0.10	0.10	0.30	0.00

Tabla 2. Valores de centralidad de los nodos.

Medida\Nodos	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈
Centralidad	0.08	0.18	0.11	0.11	0.23	0.10	0.10	0.09
Intermediación	0.00	0.09	0.04	0.10	0.53	0.11	0.04	0.10
Cercanía	0.09	0.14	0.13	0.13	0.16	0.11	0.10	0.14
Por vector propio	0.01	0.20	0.11	0.11	0.34	0.07	0.06	0.11

Tabla 3. Resultados de la agregación

Medida\Nodos	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈
Media aritmética	0.04	0.15	0.10	0.11	0.31	0.10	0.07	0.11
OWA _{orness=0.333}	0.03	0.14	0.09	0.10	0.25	0.09	0.06	0.10
OWA3 _{orness=0.467}	0.04	0.15	0.10	0.11	0.29	0.10	0.07	0.10
OWA2 _{orness=0.667}	0.06	0.17	0.11	0.11	0.38	0.10	0.09	0.12

Tabla 3. Resultados de la agregación

	Ordenamientos
Media aritmética	$N_5 > N_2 > N_8 > N_4 > N_3 > N_6 > N_7 > N_1$
OWA _{orness=0.333}	$N_5 > N_2 > N_4 > N_8 > N_6 > N_3 > N_7 > N_1$
OWA3 _{orness=0.467}	$N_5 > N_2 > N_4 > N_8 > N_3 > N_6 > N_7 > N_1$
OWA2 _{orness=0.667}	$N_5 > N_2 > N_8 > N_4 > N_3 > N_6 > N_7 > N_1$

A partir de esta matriz se obtuvieron distintas medidas de centralidad de los nodos (8), (9), (10), (11). Estos resultados se muestran en la Tabla II.

Posteriormente se realiza el proceso de agregación de las distintas medidas de centralidad empleando el operador OWA utilizando distintos valores de orness (Tabla II).

En el caso de estudio se incluye la media aritmética como un caso particular de operador OWA (Merigó 2008). Mediante los resultados obtenidos con la agregación se realizaron los ordenamientos mostrados en la Tabla III.

Como se puede apreciar en la Tabla IV el ordenamiento presenta algunos cambios en dependencia del nivel de orness que se seleccione, aunque los 2 primeros nodos y los 2 últimos se mantienen estables.

El escenario ideal en este caso estará representado por el vector :

$$I = [1,1,1,1,1,1,1,1]$$

Se determina un vector con la importancia de cada indicador asignado por expertos

$$W = [0.13, 0.12, 0.13, 0.14, 0.13, 0.12, 0.11, 0.13]$$

El vector asociado al OWA se determina mediante el Cuantificador Incremental

Monótono Regular, r^2 con un valor de orness=0.31, $W_{owa} = [0.02, 0.05, 0.08, 0.11,$

$$0.14, 0.17, 0.20, 0.23]$$

El escenario ideal en este caso estará representado por el vector:

$$I = [1,1,1,1,1,1,1,1]$$

debido a que constituyen nodos tipo

Tabla 5. Resultados de evaluación de los escenarios

Escenario	()	()	WOWAD
S1	[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1]	[-0.27, -0.24, -0.18, -0.19, -0.21, -0.22, -0.21, -0.13]	0.153
S2	[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]	[-0.42, -0.39, -0.29, -0.31, -0.33, -0.35, -0.34, -0.22]	0.169
S3	[0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0]	[-0.34, -0.31, -0.23, -0.24, -0.27, -0.28, -0.27, -0.18]	0.161

beneficio. Se determina un vector con la importancia de cada indicador asignado por expertos. El vector asociado al OWA se determina mediante el Cuantificador Incremental Monótono Regular, con un valor de orness=0.31 e indica el grado de compensación entre los criterios.

Para la realización del análisis dinámico se determinan los vectores de entrada asociados para distintos escenarios. Los posibles escenarios a analizar están asociados con riesgos en el entorno y se definen a partir de circunstancias probables que pueden ocurrir en el futuro. Estos son: escenario 1 disminución de la cantidad de estudiantes implicados en los proyectos (N8=-1), escenario 2 disminución de la participación en proyectos (N5=-1), escenario 3 disminución de la capacidad recibida y ofertada (N4=-1). Para la simulación se utiliza como función de activación la tangente hiperbólica:

$$F(x) = \tanh(\lambda x) \lambda = 0.4, \quad (13)$$

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

Se realiza la agregación de las distancias utilizando el operador WOWAD utilizando la distancia euclidiana normalizada. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Los resultados obtenidos muestra que el mayor impacto negativo lo tendrá el escenario 2. En este escenario se impactan especialmente los nodos N₁, N₂, N₆. Los resultados se corresponden con la realidad de la entidad. En cuanto a las principales ventajas identificadas por los participantes, estas fueron: la relativa facilidad de la técnica y la posibilidad de ser utilizado en presencia de una alta incertidumbre.

Conclusiones

Los indicadores de CT constituyen elementos que guían la toma de decisiones y la definición de políticas. 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 de modo más balanceado determinar los nodos con mayor importancia del modelo. En el caso del análisis de escenario posibilita cuantificar los resultados de la simulación mediante el empleo de MCD y operadores OWAD. Su utilización permite medir el impacto de la actividad científica en centros, organismos, entidades y países a través de sus resultados.

Este estudio constituye, según la bibliografía consultada el primero que emplea MCD para el análisis de la interrelación ente indicadores de CT. 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 y otros tipos de operadores de agregación constituye otra futura línea de investigación.

Agradecimiento

Se agradece la colaboración en la confección de este trabajo a los siguientes investigadores: Susana Gonce, Oscar Reimar y Jorge Gulín.

Referencias

Akkermans, H. and K. van Oorschot (2002). «Developing a balanced scorecard with system dynamics.» *Journal of the Operational Research Society*.

Barnabè, F. (2011). «A «system dynamics-based Balanced Scorecard» to support strategic decision making: Insights from a case study.» *International*

Journal of Productivity and Performance Management 60(5): 446-473. ISSN: 1741-0401

Borgatti, S. P. (2005). «Centrality and network flow.» *Social Networks* 27(1): 55-71.

Buela-Casal, G., O. Gutiérrez-Martínez, et al. (2007). «Comparative study of international academic rankings of universities.» *Scientometrics* 71(3): 349-365. DOI: 10.1007/s11192-007-1653-8

Bueno, S. and J. L. Salmeron (2009). «Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps.» *Expert Systems with Applications*. 36(3): 5221-5229.

Chen, J. J. and C. L. Wang (2006). «Using Fuzzy Cognitive Maps to Model Performance Measurement System of Internet-based Supply Chain.» *Journal of Chongqing University* 5(4): 212-217. Article ID:1671-8224(2006)04-0212-06

Chytas, P., M. Glykas, et al. (2011). «A proactive balanced scorecard.» *International Journal of Information Management* 31(5): 460-468. DOI:10.1016/j.ijinfomgt.2010.12.007

Freeman, C. and L. Soete (2009). «Developing science, technology and innovation indicators: What we can learn from the past.» *Research Policy* 38(4): 583-589.

García Díaz, I. S. A., Gilberto. (1997). «Los indicadores científicos: La medición de la ciencia y sus cuestionamientos.», from <http://www.congresoinfo.cu/UserFiles/File/Info/Info97/Ponencias/096.pdf>.

Glykas, M. (2010). *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory,*

- Methodologies, Tools and Applications, Springer Verlag. ISBN 978-3-642-03220-2
- González Guitián, M. V. and M. Molina Piñeiro (2008). «La evaluación de la ciencia y la tecnología: revisión de sus indicadores.» *Acimed* 18(6): 0-0.
- Grupp, H. and M. E. Moge (2004). «Indicators for national science and technology policy: how robust are composite indicators?» *Research Policy* 33(9): 1373-1384. doi:10.1016/j.respol.2004.09.007
- Lara, R. B., S. G. Espinosa, et al. (2015). «Modelo para el análisis estático en grafos difusos basado en indicadores compuestos de centralidad» *Revista Cubana de Ciencias Informáticas* 9(2). SSN: 2227-1899
- Lee, T. L. and S. C. Yang (2011). Using Balanced Scorecard and system dynamics in exploring the performance of Taiwan's pharmaceutical industry, *IEEE*.
- Leyva-Vázquez, M., K. Pérez-Teruel, et al. (2014). A model for enterprise architecture scenario analysis based on fuzzy cognitive maps and OWA operators. *Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP), 2014 International Conference on, IEEE*.
- Leyva Vázquez, M. Y., K. Pérez Teruel, et al. (2013). «Mapas cognitivos difusos para la selección de proyectos de tecnologías de la información.» *Contaduría y Administración* 58: 95-117.
- Lin, C. T. and C. S. G. Lee (2002). Neural-network-based fuzzy logic control and decision system, *IEEE*. 40: 1320-1336.
- Mazlack, L. J. (2009). «Representing Causality Using Fuzzy Cognitive Maps.» 1-6.
- Merigó, J. (2008). New extensions to the OWA operators and its application in decision making. Department of Business Administration, University of Barcelona. Barcelona, University of Barcelona. PhD.
- Merigó, J. M. and A. M. Gil-Lafuente (2010). «New decision-making techniques and their application in the selection of financial products.» *Information Sciences* 180(11): 2085-2094. DOI:10.1016/j.ins.2010.01.02
- Munda, G. and M. Nardo (2003). «On the methodological foundations of composite indicators used for ranking countries.» *Ispira, Italy: Joint Research Centre of the European Communities*.
- Nielsen, S. and E. H. Nielsen (2015). «The Balanced Scorecard and the Strategic Learning Process: A System Dynamics Modeling Approach.» *Advances in Decision Sciences* 2015. Article ID 213758
- Peña, A., H. Sossa, et al. (2007). *Mapas Cognitivos: un Perfil y su Aplicación al Modelado del Estudiante*, Centro de Investigación en computación, IPN. 10: 230-250.
- R. R. Yager (1996). «Quantifier guided aggregation using OWA operators.» *International Journal of Intelligent Systems* 11(1): 49-73.
- Rueda-Clausen Gómez, C. F., C. Villaroel Gutiérrez, et al. (2010). «Indicadores bibliométricos: origen, aplicación, contradicción y nuevas propuestas.» *MedUNAB* 8(1).
- Salmeron, J. L. (2009). Supporting decision makers with Fuzzy Cognitive Maps, *Industrial Research Institute, Inc.* 52: 53-59.
- Samarasinghea, S. and G. Strickert (2011). A New Method for Identifying the Central Nodes in Fuzzy Cognitive Maps using Consensus Centrality Measure. 19th International Congress on Modelling and Simulation. Perth, Australia.
- Sancho, R. (2001). «Directrices de la OCDE para la obtención de indicadores de ciencia y tecnología.» *Directrices de la OCDE para la obtención de indicadores de ciencia y tecnología*.
- Santos, S. P., V. Belton, et al. (2002). «Adding value to performance measurement by using system dynamics and multicriteria analysis.» *International Journal of Operations & Production Management* 22(11): 1246-1272. ISSN: 0144-3577
- Saturno, P. J. (2004). «La invasión de los indicadores compuestos. Riesgos y beneficios para la gestión de la calidad.» *Rev Calidad Asistencial* 19: 407-415. ISSN: 1134-282X
- Sokar, I. Y., M. Y. Jamaluddin, et al. (2011). «KPIs Target Adjustment Based on Trade-off Evaluation Using Fuzzy Cognitive Maps.» *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(12): 2048-2053. ISSN 1991-8178
- Yager, R. R. (1988). «On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking.» *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on* 18(1): 183-190.
- Yang, Y., B. Li, et al. (2010). «A method of identifying and weighting indicators of energy efficiency assessment in Chinese residential buildings.» *Energy Policy* 38(12): 7687-7697. ISSN: 0301-4215
- Yousef, O.-M. S. (2014). «Causality analysis of the technology strategy maps using the fuzzy cognitive strategy map.» *African Journal of Business Management* 8(6): 191.

Recibido: 6 de agosto de 2015.
Aprobado en su forma definitiva:
10 de marzo de 2016

Milton Rafael Maridueña Arroyave
Universidad de Guayaquil, Guayaquil,
Guayas, Ecuador.
Correo-e.:milton.mariduenaa@ug.edu.ec

Maikel Leyva Vazquez
Universidad Internacional del Ecuador (UIDE),
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas.
Quito, Ecuador,
Correo-e.:

Ailyn Febles Estrada
Universidad de las Ciencias Informáticas,
Habana, Cuba.
Correo-e.:
