

NUEVO MODELO DE TOMA DE DECISIONES BASADO EN MAPAS COGNITIVOS NEUTROSÓFICOS TRIANGULARES PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Salah Hasan Al-subhi^{*1}, Pedro Piñero Pérez^{*}, Roberto García Vacacela^{**}, Gaafar Sadeq S. Mahdi^{*}, Luis Alvarado Acuña^{***}

^{*}Universidad de Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba

^{**} Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

^{***} Universidad Católica del Norte, Departamento de Gestión de la Construcción, Chile

ABSTRACT

The growth of project management as international discipline was encouraged by the increasing of projects complexity all over the world. Despite of the effort made by the principal standards of project management, the number of failed and renegotiated projects still very high. Decision making process is one of the root causes of projects failure. During project development, decisions are made according to the evaluations performed in projects cut. In each cut, experts make, sequentially, diagnosis, decision, and prediction processes. This paper aims at creating a new model that integrate the diagnosis, decision, and prediction processes in one platform for decision making during projects development. The new model is based on Neutrosophic Cognitive Maps (NCMs) with a triangular neutrosophic number in map's connections. The suggested model deals efficiently with the uncertainty and vagueness, since it considers the truth, indeterminacy, and falsity degrees. Finally, the proposed model has been compared, in terms of efficacy, with a traditional FCM-based model for decision making in projects.

KEYWORDS: Decision Making, Projects Management, Neutrosophic Cognitive Maps, Triangular Neutrosophic Number.

MSC: 03E72, 68T30, 68T37, 68U35

RESUMEN

El crecimiento de la gestión de proyectos como disciplina internacional fue impulsado por el crecimiento de la complejidad de los proyectos en todo el mundo. A pesar de los esfuerzos desplegados por las principales escuelas de gestión de proyectos, aún la cantidad de proyectos fallidos y renegociados es alta. El proceso de toma de decisiones figura entre las principales causas de fracaso en los proyectos. Durante la ejecución de proyectos, las decisiones son tomadas en base de las evaluaciones en los cortes de proyectos. En cada corte, los expertos realizan de forma secuencial los procesos de diagnóstico, decisión y pronóstico. Este artículo tiene como objetivo la creación de un nuevo modelo que integre los procesos de diagnóstico, decisión y pronóstico en una sola plataforma para la toma de decisiones durante el desarrollo de proyectos. El modelo propuesto está basado en los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (MCNs) con números neutrosóficos triangulares en las conexiones del mapa. El nuevo modelo trata de forma eficiente la incertidumbre y vaguedad, ya que considera los grados de verdad, indeterminación y falsedad. Finalmente, el modelo basado en los MCNs ha sido comparado en términos de eficacia, con otro modelo basado en los MCDs tradicionales para la toma de decisiones en proyectos.

PALABRAS CLAVES: Toma de decisiones, gestión de proyectos, mapas cognitivos neutrosóficos, número neutrosófico triangular.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de proyecto es un campo interdisciplinario donde convergen elementos de psicología, técnicas de dirección, toma de decisiones, gestión económica, gestión logística, conocimientos técnicos del área concreta donde se aplique, las ciencias matemáticas y las tecnologías de la información y las comunicaciones para alcanzar un objetivo bien determinado, con un conjunto de recursos limitados, en un tiempo determinado, con una calidad deseada y a través de un conjunto de acciones organizadas de forma óptima o cuasi óptima manteniendo un balance entre costo, tiempo y calidad [26].

A pesar de que existen numerosas escuelas de gestión de proyectos tales como, el PMBOK [28], CMMI [37] y la norma ISO 21500 [8]; aún la cantidad de proyectos fallidos y renegociados es alta. Un ejemplo de lo anterior se refleja en el último estudio realizado por *The Standish Group International Incorporated* en 2018 [17], ver Tabla 1.

Tabla 1. Proyectos exitosos, renegociados y fracasados en dependencia de sus tamaños. Tomado de [18]

Tamaño	Exitoso	Renegociado	Fracasado
Muy grande	4%	53%	43%

Grande	12%	59%	29%
Mediano	18%	59%	23%
Moderado	25%	62%	13%
Pequeño	57%	35%	8%

Según el PMI [29], el 47% de los proyectos fallidos son impactados por decisiones pobres, destacando que el proceso de toma de decisiones requiere más atención. Cunha et al. [10] menciona que el éxito de los proyectos depende de cómo los gestores de proyectos traten los problemas y tomen decisiones.

Durante la ejecución de proyectos, las decisiones son tomadas en base de las evaluaciones en cada corte del proyecto. Un corte de proyecto constituye un punto de control del proyecto donde se evalúa el estado del mismo. Estas evaluaciones se realizan considerando indicadores cualitativos y cuantitativos estrechamente relacionados con las principales áreas de conocimiento de la dirección de proyectos tales como, costo, tiempo, calidad, logística y rendimiento de los recursos humanos. En cada corte, los expertos realizan de forma secuencial los procesos de diagnóstico, decisión y pronóstico. El diagnóstico es llevado a cabo con el fin de identificar defectos y desviaciones en los proyectos. Los expertos seguidamente toman decisiones asociadas a resolver los defectos detectados en los proyectos en caso que existan. Finalmente, se pronostica la evolución del proyecto de acuerdo a las decisiones tomadas, ver figura 1.

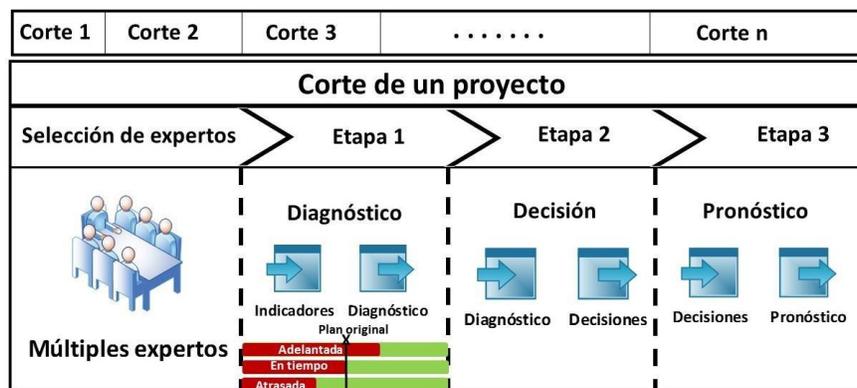


Figura 1. Los procesos de diagnóstico, decisión y pronóstico durante un corte de proyecto

En la gestión de proyectos, el proceso de toma de decisiones tiene una alta dependencia a los recursos humanos involucrados en el proyecto y sus preferencias. Como consecuencia, la toma de decisiones en gestión de proyectos se caracteriza por la existencia de información ambigua, imprecisa y con alto nivel de incertidumbre [9]; para resolver esta situación, se propone en este trabajo el uso de técnicas de *soft computing* [27].

Entre las técnicas de *soft computing* más utilizadas para la toma de decisiones en gestión de proyectos se reportan: las redes neuronales [38], [20], las redes bayesianas [18], los sistemas basados en reglas [23], los árboles de decisión [16], los sistemas basados en casos [39] y los mapas cognitivos difusos [21].

Los mapas cognitivos difusos (MCDs) introducidos por Kosko en 1986 [19] ofrecen ventajas como:

- La escalabilidad en entornos dinámicos [24]. En las organizaciones orientadas a proyectos, el dinamismo es provocado por la evolución de las propias organizaciones a partir de la experiencia y los procesos de mejora haciendo que las alternativas también pueden cambiar.
- La interpretabilidad de los resultados [13], [14]. En particular, en la gestión de proyectos es imprescindible que los expertos humanos puedan interpretar fácilmente las decisiones por las herramientas propuestas por los investigadores.
- La agregación del conocimiento de múltiples expertos [12], [32]. En la modelación del proceso de toma de decisión en gestión de proyectos, deben intervenir varios expertos para disminuir el sesgo que se produce cuando interviene un único experto. El conocimiento de estos expertos debe ser agregado en una sola estructura de conocimiento.
- La posibilidad de manejar información cualitativa [25], [22]. Es más cómodo para los expertos en algunas ocasiones expresar sus preferencias en lenguaje natural, o sea, a través de información cualitativa, por ejemplo, sus preferencias asociada al análisis de calidad y la motivación de los recursos humanos.
- La capacidad para representar las relaciones retroalimentación e indeterminación que con frecuencia se presentan en las decisiones que se tomen durante el desarrollo de proyectos [11].

Como consecuencia, los MCDs han sido utilizados para modelar problemas en gestión de proyectos. Stach y Kurgan [33] emplean los MCDs para analizar el efecto de la cantidad de desarrolladores y la comunicación entre ellos sobre el desarrollo de un proyecto de *software*. Los mismos autores desarrollaron en [34] un modelo basado en MCDs paralelos, el modelo fue aplicado para la planificación de proyectos de *software*. Salmeron propone en [30] un sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en los MCDs para la selección de proyectos. El mismo autor aplica su modelo basado en MCDs y la Teoría de los Sistemas Gris [31] para el análisis de riesgos en los proyectos de *software*. Bhatia y Kapoor desarrollaron en [6] una herramienta informática basada en los MCDs para la predicción de riesgos durante el desarrollo de proyectos de *software*. Atul Kumar et al. [3] propone un MCD para la predicción de las desviaciones en el tiempo de ejecución de proyectos de *software*. Zare Ravasan et al. [40] propone un modelo dinámico basado en MCDs para identificar los factores que influyen en el fracaso de los proyectos de desarrollo de sistemas ERP. Bhutani et al. [7] propone un modelo basado en Mapas Cognitivos Neutrosóficos para la identificación y evaluación de los factores de éxito en proyectos de tecnología de la información. Jamshidi et al. [15] emplea los MCDs para la toma de decisiones durante el análisis dinámico de riesgos en la gestión de proyectos, tomando en cuenta la probabilidades de ocurrencia y el impacto de cada factor de riesgo. Bağdatlı, Akbiyıklı y Papageorgiou desarrollaron en [4] un modelo de toma de decisiones basado en MCDs para el análisis de costo – beneficio de proyectos de construcción de autopistas, tomando en consideración el análisis de riesgos. Betancourt-Vázquez et al. [5] propone el uso de los Mapas Cognitivos Neutrosóficos para modelar las dependencias entre riesgos en portafolios de proyectos.

A partir del análisis bibliográfico, se constata que:

- Los trabajos anteriores no toman en cuenta que la toma de decisiones en la gestión de proyectos se centra en cortes, y que en cada corte ocurren los procesos de diagnóstico, decisión y pronóstico de forma secuencial.
- Los trabajos que emplean los Mapas Cognitivos Neutrosóficos representan las relaciones de indeterminación mediante la letra I , que se arrastra durante el proceso de simulación, indicando cuales son los nodos de salida con indeterminación. De esta manera, no se puede cuantificar los grados de veracidad, falsedad e indeterminación en las salidas. Este elemento es importante, a juicio de los autores de este trabajo, que se tenga en consideración a la hora de generar las salidas, para un mejor tratamiento de la incertidumbre.

Como objetivo principal de este trabajo, se propone desarrollar un modelo basado en los Mapas Cognitivos Neutrosóficos para la toma de decisiones simultáneas de los procesos de diagnóstico, decisión y pronóstico, durante la gestión de proyectos. El modelo tiene en cuenta además la secuencialidad de los tres procesos durante el corte y modela las relaciones de indeterminación mediante conjuntos neutrosóficos triangulares. El resto del artículo se estructura como lo siguiente: sección 2 describe conceptos preliminares y notaciones de la teoría de neutrosofía. En sección 3, se propone un modelo basado en los MCNs para la toma de decisión en proyectos. Sección 4 está dedicada al análisis y discusión. Sección 5 está devotada a las conclusiones y las líneas futuras de trabajo.

2. MAPAS COGNITIVOS NEUTROSÓFICOS, CONCEPTOS BÁSICOS

Los conjuntos neutrosóficos tienen sus antecedentes en los conjuntos difusos introducidos por Zadeh en 1965 [41] y los conjuntos difusos intuitivos propuestos por Atanassov en 1986 [2].

- Un conjunto difuso $A = \{(x, L, T_A(x)) / x \in U\}$ es definido por un término lingüístico L y una función de membresía $T_A(x) \rightarrow [0, 1]$, definida para cada $x \in U$, donde $T_A(x)$ es el grado de pertenencia de x a A en el universo de discurso U .
- Un conjunto difuso intuicionista $A = \{(x, L, T_A(x), F_A(x)) / x \in U\}$ es definido por un término lingüístico L y dos funciones de membresía, $T_A(x) \rightarrow [0, 1]$ que indica el grado de pertenencia de x a A y $F_A(x) \rightarrow [0, 1]$ que indica el grado de no pertenencia de x a A . Las dos funciones deben cumplir con la restricción $T_A(x) + F_A(x) \leq 1$ [4].

Los conjuntos neutrosóficos incluyen una tercera función de membresía I_A , que indica el grado de indeterminación [1].

Definición 1: Un conjunto neutrosófico $A = \{(x, L, T_A(x), I_A(x), F_A(x)) / x \in U\}$ es definido por un término lingüístico L y tres funciones de membresía, $T_A(x) \rightarrow [0, 1]$, $I_A(x) \rightarrow [0, 1]$ y $F_A(x) \rightarrow [0, 1]$. La inclusión de la indeterminación establece que la neutralidad e ignorancia son también formas de la incertidumbre. Por lo tanto $0 \leq \sup T_A(x) + \sup I_A(x) + \sup F_A(x) \leq 3$.

Definición 2: Un conjunto neutrosófico triangular \tilde{A} es un vector $\tilde{A} = (x, l, \mu_A(a_1, a_2, a_3), \alpha_A, \theta_A, \beta_A)$, tal que $\mu_A(a_1, a_2, a_3)$ representa una función triangular y $\alpha_A, \theta_A, \beta_A \in [0,1]$ son valores que permiten calcular $T_A(x)$, $I_A(x)$ y $F_A(x)$ a partir de μ_A para todo $x \in U$, de la siguiente forma:

$$T_A(x) = \begin{cases} \alpha_A \left(\frac{x-a_1}{a_2-a_1} \right) & (a_1 \leq x \leq a_2) \\ \alpha_A \left(\frac{a_3-x}{a_3-a_2} \right) & (a_2 < x \leq a_3) \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases} \quad (2.1)$$

$$I_A(x) = \begin{cases} \frac{(a_2-x+\theta_A(x-a_1))}{(a_2-a_1)} & (a_1 \leq x \leq a_2) \\ \theta_A & (x = a_2) \\ \frac{(x-a_2+\theta_A(a_3-x))}{(a_3-a_2)} & (a_2 < x \leq a_3) \\ 1 & \text{otro caso} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$F_A(x) = \begin{cases} \frac{(a_2-x+\beta_A(x-a_1))}{(a_2-a_1)} & (a_1 \leq x \leq a_2) \\ \beta_A & (x = a_2) \\ \frac{(x-a_2+\beta_A(a_3-x))}{(a_3-a_2)} & (a_2 < x \leq a_3) \\ 1 & \text{otro caso} \end{cases} \quad (2.3)$$

Definición 3. Sea z un número neutrosófico de valor único (SVN), se representa por el vector $z = (z_c, T_A(z_c), I_A(z_c) \text{ y } F_A(z_c))$, tal que $z_c \in \mathfrak{R}$ y $T_A(z_c), I_A(z_c)$ y $F_A(z_c) \in [0,1]$ son los grados de pertenencia, indeterminación y no pertenencia respectivamente del número z al conjunto neutrosófico \tilde{A} .

Definición 4. Sea x_1 un número neutrosófico triangular, se representa por el vector $x_1 = (x_{11}, x_{12}, x_{13}, T_A(x_{12}), I_A(x_{12}) \text{ y } F_A(x_{12}))$, tal que (x_{11}, x_{12}, x_{13}) representa un número triangular $x_{11}, x_{12}, x_{13} \in \mathfrak{R}$, $x_{11} \leq x_{12} \leq x_{13}$ y $T_A(x_{12}), I_A(x_{12})$ y $F_A(x_{12}) \in [0,1]$ son los grados de pertenencia, indeterminación y no pertenencia respectivamente del número triangular x_1 al conjunto neutrosófico \tilde{A} .

Definición 5. Una variable lingüística neutrosófica se define como un quintuplo $(r, LBTL, X, M, G)$, tal que r es el nombre de la variable, $LBTL$ es el conjunto básico de términos lingüísticos, X es el universo de discurso, M es una regla semántica que asocia a cada *valor lingüístico* z su significado $M(z)$, siendo $M(z)$ un conjunto neutrosófico triangular y G es una regla sintáctica que describe la relación entre los conjuntos neutrosófico triangulares respecto a su ubicación en el plano y los puntos de intersección entre ellos.

3. MAPA COGNITIVO NEUTROSÓFICO PARA EL DIAGNÓSTICO, DECISIÓN Y PRONÓSTICO EN PROYECTOS

En esta sección, se presenta el nuevo modelo basado en los MCNs que integre los procesos de diagnóstico, decisión y pronóstico en una sola plataforma que sirva como un sistema de apoyo a la toma de decisiones durante la evaluación de proyectos. El mapa es ejecutado por diferentes etapas y con orden secuencial. En la primera etapa se lleva a cabo el proceso de diagnóstico a partir de un grupo de indicadores cuantitativos que toman valores entre 0 y 1, estos indicadores reflejan el estado real de un proyecto durante un corte. En la segunda etapa se efectúa el proceso de decisión tomando como datos de entrada los nodos de salida del diagnóstico. Las decisiones generadas en la etapa anterior se emplean como datos de entrada de la etapa de pronóstico. En esta última etapa se pronostica la evolución del proyecto a partir de las decisiones tomadas. Todas las conexiones del mapa están representadas por números neutrosóficos triangulares, ver definición 4. A continuación, se muestra la notación que se empleará en la descripción de los algoritmos.

Tabla 2. Notación de los variables empleados en los algoritmos

Notación	Significado
Mc	Mapa cognitivo para la toma de decisión.
Me_i	El mapa construido por el experto e_i .

M_{agg}	El mapa agregado.
A_i	Valor del concepto i -ésimo que representa el nodo i del mapa M_c .
f	Función de activación.
w_{ji}	El peso de relación entre los conceptos A_i y A_j del mapa M_c .
$LBTL$	Conjuntos de términos lingüísticos.
P	Peso de los expertos tal que p_i representa el peso del i -ésimo experto.

Para la construcción del mapa se definió una estructura que tiene en cuenta las relaciones secuenciales entre los procesos de diagnóstico, decisión y pronóstico. Teniendo en consideración, además, que los tres procesos deben ser modelados en diferentes etapas ya que cada proceso depende de la salida que genera el proceso predecesor respectivamente, excepto la etapa del diagnóstico que depende de un grupo de indicadores. Como trabajo futuro se identifica la necesidad de realizar un estudio exploratorio acerca de las diferentes arquitecturas de los MCDs y su aplicabilidad en la solución del problema en cuestión.

El modelo MCN fue construido y ejecutado basado en los siguientes algoritmos:

Algoritmo_1. el pseudo-código del algoritmo para la construcción de mapas cognitivos neutrosóficos de forma prescriptivas con la ayuda de múltiples expertos

1. Definir el problema de toma de decisión.
2. Seleccionar K expertos ($K > 2$) y definir el vector P que representa los pesos de los expertos, p_i es el peso del experto i tal que $\sum_{i=1}^k p_i = 1$.
3. Analizar el problema e identificar los conceptos a relacionar por cada una de las etapas del proceso de toma de decisión ($A_1, A_2 \dots x_n$).
4. Establecer la variable lingüística V que se empleará para la definición de las relaciones causales entre los conceptos. El conjunto de términos lingüísticos que conforma la variable se denota $LBTL = \{neg_altísimo, neg_muy_alto, neg_alto, neg_media, neg_bajo, neg_muy_bajo, nada, muy_bajo, bajo, media, alto, muy_alto, altísimo, indeterminación\}$.
5. Cada experto e_i construye un mapa M_{e_i} expresando sus preferencias sobre la dirección e intensidad de las relaciones entre los conceptos, tal que w_{ij} representa el peso de la conexión entre A_i y A_j .
6. Agregar los M_{e_i} mapas construidos por los expertos obteniendo el mapa agregado M_{agg} .
7. Devolver el mapa M_{agg} como el mapa final para la toma de decisión que se denota M_c .

A partir del algoritmo 1 se definieron los nodos del mapa MCN, que consiste en cuatro tipos de nodos. El primer tipo representa los indicadores que reflejan el estado real de un proyecto. El Segundo tipo está asociado a los nodos de diagnóstico y el tercero a los nodos de decisión. El último tipo corresponde a los nodos de pronóstico. Finalmente, los expertos identificaron un total de 37 nodos, ver Tabla 3.

Tabla 3. Los nodos del MCN

Tipo	Nodos	Descripción
Indicadores	IRP	Índice de Rendimiento de la Planificación
	IRC	Índice de Rendimiento de Costos
	IREF	Índice de Rendimiento de la Eficacia
	IRL	Índice de Rendimiento de la Logística
	ICD	Índice de Calidad del Dato
	IRHC	Índice de la Calidad de la Planificación (Correlación entre el plan y el real)
	IRHE	Índice de Rendimiento de Eficacia de Recursos Humanos
	IRHF	Índice de Rendimiento de Eficiencia de Recursos Humanos
Conceptos de diagnóstico	F1	Defectos en el alcance
	F2	Defectos en el control de calidad
	F3	Defectos en el control de tareas
	F4	Defectos en la planificación
	F5	Defectos en la planificación de costo
	F6	Defectos en la logística
	F7	Defectos en la eficiencia de los recursos humanos
	F8	Defectos en la eficacia de los recursos humanos

	F9	No significantes defectos
Conceptos de decisión	D1	Replanificación del alcance
	D2	Incrementar el control de calidad
	D3	Incrementar el control de los hitos
	D4	Replanificación
	D5	Planificación de horas extras
	D6	Disminuir el costo
	D7	Mejorar la gestión de la logística
	D8	Despedir el director del proyecto
	D9	Recompensar los recursos humanos
	D10	Penalizar los recursos humanos
	D11	Contratar más personal
	D12	Felicitar el equipo de trabajo
Conceptos de predicción	P1	Disminuir la variación del alcance
	P2	Mejorar la calidad
	P3	Recuperar atrasos
	P4	Incrementar el balance de costo
	P5	Mejorar la gestión de logística
	P6	Incrementar la motivación de los recursos humanos
	P7	Disminuir la motivación de los recursos humanos
	P8	Continuar satisfactoriamente

Cada experto construye su propio mapa mediante la asignación de las relaciones causales entre los conceptos identificados en la tabla 3, empleando números neutrosóficos triangulares, ver definición 1, que conforman la variable lingüística que muestra la relación entre los conceptos del proceso de evaluación de proyectos.

Existen cuatro tipos de relaciones entre los conceptos del mapa, como se muestra a continuación:

- Relaciones directamente proporcionales o excitadoras: se representan como relaciones positivas entre los conceptos, como por ejemplo la relación "alta", que relaciona el concepto de indicadores "correlación entre el tiempo planificado y tiempo real dedicado" y el concepto de diagnóstico "Defectos en la planificación".
- Relaciones de inhibición: representan relaciones competitivas entre conceptos de la misma etapa de toma de decisión, se representan por relaciones negativas como por ejemplo la relación "neg_alta" que relaciona los conceptos del diagnóstico "no defectos significativos" y el concepto "defectos en el control de tareas".
- Relaciones inversamente proporcionales entre los conceptos de diferentes etapas del proceso de toma de decisiones, se representan como relaciones negativas, como por ejemplo la relación "neg_media" que relaciona el concepto de diagnóstico "defectos en la eficacia de los recursos humanos" y el concepto de la decisión "recompensar los recursos humanos".
- Relaciones de indeterminación. Ocurre con frecuencia en la toma de decisión en gestión de proyectos que la relación entre dos eventos es indeterminada. Por ejemplo, se conoce que la decisión de incrementar el control de calidad tiene una alta incidencia en el incremento del indicador de planificación IRP. No obstante, esta misma decisión pueda o no incidir en el concepto de pronóstico de Incrementar la motivación de los recursos humanos.

La variable lingüística "Intensidad de la relación entre conceptos" de toma de decisiones en proyectos (r , $LBTL$, X , M , G) tal que:

- r : Intensidad de la relación entre conceptos
- $LBTL = \{Negativamente\ altísimo\ (NASMO),\ Negativamente\ muy\ alto\ (NMA),\ Negativamente\ alto\ (NA),\ Negativamente\ medio\ (NM),\ Negativamente\ bajo\ (NB),\ Negativamente\ muy\ bajo\ (NMB),\ Nada\ (N),\ Muy\ bajo\ (MB),\ Bajo\ (B),\ Medio\ (M),\ Alto\ (A),\ Muy\ alto\ (MA),\ Altísimo\ (ASMO),\ Indeterminación(IND)\}$
- $X \in [0,1]$
- $M: \{(x, NASMO, \mu_{NASMO}(-1.0, -1.0, -0.83), 0.95, 0.45, 0.15), (x, NMA, \mu_{NMA}(-1, -0.83, -0.67), 0.95, 0.45, 0.15), (x, NA, \mu_{NA}(-0.83, -0.67, -0.5), 0.95, 0.45, 0.15), (x, NM, \mu_{NM}(-0.67, -0.5, -0.33), 0.95, 0.45, 0.15), (x, NB, \mu_{NB}(-0.5, -0.33, -0.17), 0.95, 0.45, 0.15), (x, NMB, \mu_{NMB}(-0.33, -0.17, 0), 0.95, 0.45, 0.15), (x, N, \mu_N(0, 0.07, 0.17), 0.95, 0.45, 0.15), (x, MB, \mu_{MB}(0, 0.17, 0.33), 0.95, 0.45, 0.15)\}$

- $(x, B, \mu_B(0.17, 0.33, 0.5), 0.95, 0.45, 0.15),$
- $(x, M, \mu_M(0.33, 0.5, 0.67), 0.95, 0.45, 0.15),$
- $(x, A, \mu_A(0.5, 0.67, 0.83), 0.95, 0.45, 0.15),$
- $(x, MA, \mu_{MA}(0.67, 0.83, 1.0), 0.95, 0.45, 0.15),$
- $(x, ASMO, \mu_{ASMO}(0.83, 1.0, 1.0), 0.95, 0.45, 0.15),$
- $(x, IND, \mu_{IND}(0, 0, 0), 0.1, 0.9, 0.1)\}$

Los mapas individuales luego son agregados como se muestra a continuación:

Sea $\tilde{a}, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n$ las preferencias de n expertos, siendo $\tilde{a} = (a_{11}, a_{12}, a_{13})$; $\alpha_a, \theta_a, \beta_a$, entonces, la agregación de las preferencias es calculada con el operador Agg en la ecuación 4:

$$Agg(\tilde{a}, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_{i1}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n a_{i2}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n a_{i3}}{n}, T(\alpha_a), S_1(\theta_a), S_2(\beta_a) \right) \quad (3.1)$$

Siendo T una función t-norma $T: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, por ejemplo (min), y S_1, S_2 : una función s-norma $S: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ por ejemplo (max) [36].

La gran cantidad de nodos y la intensidad del mapa² hace que el proceso de construcción del mapa sea una tarea engorrosa y costosa en tiempo. Por lo que los autores de este artículo recomiendan en trabajos futuros, la creación del mapa a partir de los datos, mediante el uso de métodos automatizados o semiautomatizados.

Luego de construir el mapa, se llevó a cabo un proceso de aprendizaje activo, con la ayuda de los expertos, mediante el cual se refinaron finalmente los pesos del mapa.

El mapa final agregado es mostrado de forma parcial en la Figura 2.

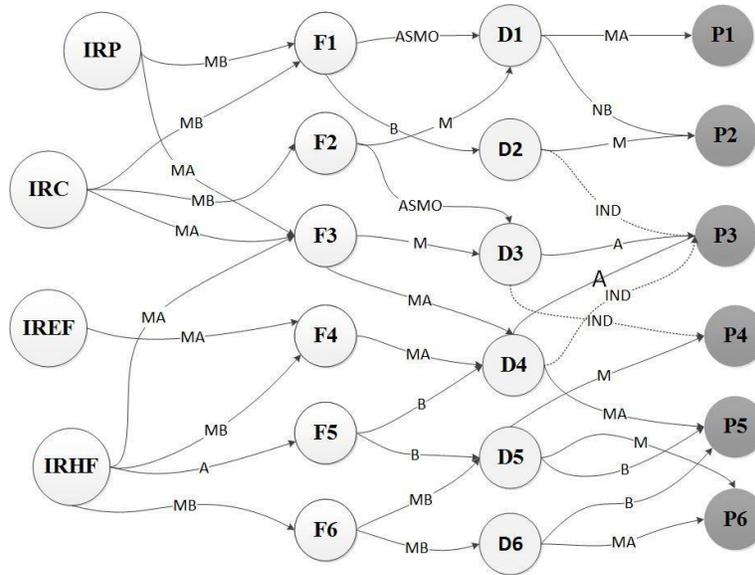


Figura 2. Una representación parcial del MCN agregado

En el proceso de simulación, se emplea el algoritmo 2. La base del algoritmo es la siguiente ecuación:

$$A_i^{t+1} = f(A_i^t + \sum_{j=1}^n W_{ji} \cdot A_j^t) \quad (3.2)$$

Donde el vector A_i^{t+1} representa el valor del nodo i en el instante $t+1$, w_{ji} representa el peso de las relaciones causales entre los conceptos, que se representa en este trabajo mediante números neutrosóficos triangulares, ver definición 4. Mientras que $f(x)$ es la función de activación representada en este trabajo por la tangente hiperbólica, ver la siguiente ecuación:

$$\tanh(x) = \frac{e^{\lambda x} - e^{-\lambda x}}{e^{\lambda x} + e^{-\lambda x}} \quad (3.3)$$

² Porcentaje de las conexiones existentes en el mapa respecto a todas las posibles conexiones que pueden existir entre los conceptos del mapa [35].

Algoritmo_2. el pseudo-código del algoritmo para la explotación del Mapa M_c

Entradas:

- M_c : mapa cognitivo para la toma de decisión donde w_{ji} representa el peso de la relación causal entre los conceptos A_i y A_j del mapa M_c .
- c_i : caso a analizar, $c_i \in C$ siendo C el conjunto de casos en un corte de proyecto.
- f : función de activación.
- ε : épsilon que representa el error admisible de la estabilidad del mapa.
- $max_iteración$: representa la máxima cantidad de iteraciones que se van a ejecutar en el mapa que influye en la condición de parad.

```
1. Cargar el mapa  $M_c$ ,
2.  $A_0 = c_i, t = 1$ 
3.  $estabilidad = false$ 
4. Realizar diagnóstico
5. Mientras not  $estabilidad$  &&  $t \leq max\_iteración$  do
6.    $A_i^{t+1} = f((A_i^t + \sum^n w_{ij} \odot A_j^t))$ 
7.    $estabilidad = \forall A^t, |A^{t+1} - A^t| < \varepsilon$ 
8.    $t = t + 1$ 
9. Fin del mientras
10.  $D_0 = A^t, t = 1$ 
11.  $estabilidad = false$ 
12. Realizar decisión
13. Mientras not  $estabilidad$  &&  $t \leq max\_iteración$  do
14.    $D_i^{t+1} = f((D_i^t + \sum^n w_{ij} \cdot D_j^t))$ 
15.    $estabilidad = \forall A^t, |A^{t+1} - A^t| < \varepsilon$ 
16.    $t = t + 1$ 
17. Fin del mientras
18.  $R_0 = D^t, t = 1$ 
19.  $estabilidad = false$ 
20. Realizar pronóstico
21. Mientras not  $estabilidad$  &&  $t \leq max\_iteración$  do
22.    $R_i^{t+1} = f((R_i^t + \sum^n w_{ij} \cdot R_j^t))$ 
23.    $estabilidad = \forall A^t, |A^{t+1} - A^t| < \varepsilon$ 
24.    $t = t + 1$ 
25. Fin del mientras
26. Devolver  $(A^t, D^t, R^t)$ 
```

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de validar el modelo basado en el mapa cognitivo neutrosófico (MCN), este es comparado con otro modelo basado en un MCD tradicional para la toma de decisiones en proyectos de *software*. Durante el proceso de validación, se empleó la base de datos DPME6 del repositorio de investigación de la Universidad de Ciencias Informáticas [1]. Esta base de datos contiene 1012 registros que representan 553 diferentes proyectos de *software*. En cada registro se describe el estado real de un proyecto de *software* en un momento determinado de su ciclo de vida. DPME6 contiene 3038 registros en donde los proyectos están evaluados como “mal”, 605 registros con los proyectos evaluados como “regular”, y 2247 registros con proyectos evaluados como “bien”. Cada registro tiene 8 atributos de entrada que corresponden a los indicadores de un proyecto, y diferentes atributos de salida que representan los posibles diagnósticos, decisiones, y predicciones, respectivamente.

Para la comparación de los dos modelos en términos de eficacia, se introduce una métrica de éxito C con el fin de evaluar los dos mapas de la siguiente manera: Sea ρ un modelo, una métrica de éxito C está definida en (4.1) como el porcentaje de registros clasificados como lo hace un experto, donde n representa el número de registros. Esta ecuación fue aplicada con el objetivo de evaluar el resultado de los procesos de diagnóstico, decisión y predicción de ambos modelos, el basado en un MCD tradicional y el basado en MCN propuesto.

$$C(\rho) = 100 \frac{\sum_{i=0}^n S_i(\rho)}{n} \quad (4.1)$$

$$S_i(\rho) = \begin{cases} 0 & \text{si no coincide con los expertos} \\ 1 & \text{si coincide con los expertos} \end{cases} \quad (4.2)$$

Así mismo, se introdujeron las métricas de precisión $P(\rho)$ (4.3) y el *recall* $R(\rho)$ (4.4) para evaluar la capacidad de los dos modelos en la detección de la indeterminación de la siguiente forma:

$$P(\rho) = 100 \frac{|Z(\rho) \cap I|}{|Z(\rho)|} \quad (4.3)$$

$$R(\rho) = 100 \frac{|Z(\rho) \cap I|}{|I|} \quad (4.4)$$

$Z(\rho)$ es el conjunto de registros que un modelo ρ detecta con alta indeterminación y I es el conjunto de registros con verdaderamente alta indeterminación.

En el proceso de validación, el algoritmo 1 fue empleado para la construcción de ambos modelos, el basado en MCN propuesto y el basado en un MCD tradicional. El mapa MCD fue construido empleando los conceptos definidos por los expertos en la Tabla 3. La influencia de un concepto sobre otro está dada por variables lingüísticas en el intervalo $[-1, 1]$, solo con relaciones causales positivas e inhibidoras, sin considerar las relaciones de indeterminación, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Términos lingüística para representar las relaciones del MCD

Términos Lingüísticos	El valor de las relaciones
Negativamente altísimo (NASMO)	-1.0
Negativamente muy alto (NMA)	-0.83
Negativamente alto (NA)	-0.67
Negativamente medio (NM)	-0.5
Negativamente bajo (NB)	-0.33
Negativamente muy bajo (NMB)	-0.17
Nada (N)	0.07
Muy bajo (MB)	0.17
Bajo (B)	0.33
Medio (M)	0.5
Alto (A)	0.67
Muy alto (MA)	0.83
Altísimo (ASMO)	1.0

Respecto a las evaluaciones exitosas en los procesos de diagnóstico, decisión y predicción, el MCN propuesto reportó mejores resultados que el MCD, como se muestra en la Tabla 5. En cuanto a la precisión en la detección de indeterminación (P) y el *recall* de la detección de indeterminación (R), el MCN propuesto arrojó buenos resultados. En el caso del MCD, este no reportó ningún resultado, ya que los MCDs tradicionales no consideran las relaciones de indeterminación.

Tabla 5. Los resultados de comparación entre MCD y MCN propuesto

Algoritmo	MCD	MCN propuesto
Diagnóstico exitoso C (diagnóstico)	87%	96,98
Decisión exitosa C (decisión)	92%	99%
Predicción exitosa C (predicción)	83,3%	95,25%
Precisión en la detección de indeterminación P (diagnóstico)	-	62%
Precisión en la detección de indeterminación P (decisión)	-	77%
Precisión en la detección de indeterminación P (predicción)	-	71%
<i>Recall</i> en la detección de indeterminación R (diagnóstico)	-	99%
<i>Recall</i> en la detección de indeterminación R (decisión)	-	99.4%
<i>Recall</i> en la detección de indeterminación R (predicción)	-	96%

Además, los resultados de la simulación revelaron que los principales problemas en el proceso de diagnóstico fueron: “defectos en el control de tareas” y “defectos en la eficiencia de recursos humanos”. Mientras las principales decisiones sugeridas por el mapa NCM fueron: “replanificación” y “contratar más personal”.

Adicionalmente, el modelo propuesto ha sido aplicado en un caso de estudio en proyecto de *software* que tiene como propósito el desarrollo de los siguientes módulos:

- Un módulo para la gestión de procedimientos para la Oficina 1.
- Un subsistema para la gestión de procedimientos para la Oficina 2.
- Un subsistema para la gestión de contabilidad y finanzas.

La aplicación del modelo condujo a identificar los siguientes defectos en el proceso de diagnóstico: “defectos en el control de tareas” y “defectos en la planificación”. No obstante, sólo 4 de 10 interesados involucrados en el proyecto se mostraron satisfechos con los resultados del modelo. Con el objetivo de corregir las desviaciones del proyecto de *software* detectadas durante el proceso del diagnóstico, el modelo sugirió las siguientes decisiones:

“replanificación”, “planificación de horas extras” y “contratar más personal”.

Finalmente, las decisiones recomendadas por modelo propuesto condijeron a mejorar la calidad del *software*, e incrementar la calidad percibida, logrando que el proyecto finalizara satisfactoriamente y que la mayoría de los interesados mostraran su satisfacción con los resultados del producto de *software*.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este artículo, se presenta un nuevo modelo basado en un Mapa Cognitivo Neutrosófico (MCN) para la toma de decisiones durante los cortes de proyectos. En el modelo propuesto se modelan los procesos de diagnóstico, decisión y pronóstico de forma secuencial como parte de un proceso integrado de toma de decisiones durante el desarrollo de proyectos. Las conexiones del MCN propuesto, están representadas por números neutrosóficos triangulares. El mapa propuesto goza de las mismas ventajas que los MCDs tradicionales, pero es más robusto que los tradicionales al considerar aspectos asociados la vaguedad, la incertidumbre y la indeterminación. Adicionalmente, el nuevo modelo fue comparado con otro modelo basado en un MCD tradicional para la toma de decisiones en proyectos de *software*, demostrando su superioridad con respecto a las evaluaciones exitosas en los procesos de diagnóstico, decisión y predicción. Finalmente, el modelo fue aplicado en un caso de estudio en un proyecto de *software* conllevando a mejorar los resultados del proyecto. Como trabajos futuros, se investigará en la construcción de los MCNs a partir de los métodos de aprendizaje semiautomatizados y la comparación de diferentes arquitecturas de mapas para la solución del problema en cuestión.

RECEIVED: FEBRUARY, 2020.

REVISED: APRIL, 2020.

REFERENCIAS

- [1] ABDEL-BASSET, M. and MOHAMED, M. (2018): The role of single valued neutrosophic sets and rough sets in smart city: Imperfect and incomplete information systems. **Measurement**, 124, 47- 55.
- [2] ATANASSOV, K.T. (1986): Intuitionistic fuzzy sets. **Fuzzy Sets and Systems**, 20, 342-354.
- [3] ATUL KUMAR, DALWINDER SINGH SALARIA and DR. R. C. GANGWAR (2014): Fuzzy Cognitive Map based Prediction Tool for Schedule Overrun. **Global Journal of Computer Science and Technology**, 14.
- [4] BAĞDATLI, M.E.C., AKBIYIKLI, R. and PAPAGEORGIU, E.I. (2017): A Fuzzy Cognitive Map Approach Applied in Cost–Benefit Analysis for Highway Projects. **International Journal of Fuzzy Systems**, 19, 1512-1527.
- [5] BETANCOURT-VÁZQUEZ, A., LEYVA-VÁZQUEZ, M. and PEREZ-TERUEL, K. (2015): Neutrosophic cognitive maps for modeling project portfolio interdependencies. **Critical Review**, 10, 40-44.
- [6] BHATIA, N. and KAPOOR, N. (2011): Fuzzy Cognitive Map Based Approach for Software Quality Risk Analysis. **ACM SIGSOFT Software Engineering Notes**, 36, 1–9.
- [7] BHUTANI, K., KUMAR, M., GARG, G. and AGGARWAL, S. (2016): Assessing it Projects Success with Extended Fuzzy Cognitive Maps & Neutrosophic Cognitive Maps in Comparison to Fuzzy Cognitive Maps. **NSS**, 12, 9-19.

- [8] BRIOSO, X. (2015): Integrating ISO 21500 guidance on project management, lean construction and PMBOK. **Procedia Engineering**, 123, 76–84.
- [9] CHEN, C.-T. and CHENG, H.-L. (2009): A comprehensive model for selecting information system project under fuzzy environment. **International Journal of Project Management**, 27, 389-399.
- [10] CUNHA, J.A.O.G., MOURA, H.P. and VASCONCELLOS, F.J.S. (2016): Decision-making in Software Project Management: A Systematic Literature Review. **Procedia Computer Science**, 100, 947-954.
- [11] Groumos, P. (2010): Fuzzy Cognitive Maps: Basic Theories and Their Application to Complex Systems. GLYKAS, M. **Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications**, 1-22. Springer Science & Business Media, Berlin.
- [12] GRAY, S.A., ZANRE, E. and GRAY, S.R.J. (2014): Fuzzy Cognitive Maps as Representations of Mental Models and Group Beliefs. **Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering**, 29–48. Springer, Berlin.
- [13] GREGOR, M., GROUMPOS, P.P. and GREGOR, M. (2017): Using Weight Constraints and Masking to Improve Fuzzy Cognitive Map Models. **Conference on Creativity in Intelligent Technologies and Data Science, Volgograd, Russia**.
- [14] HATWAGNER, M.F. et al. (2018): Two-Stage Learning based Fuzzy Cognitive Maps Reduction Approach. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, 26, 2938-2952.
- [15] JAMSHIDIA, A., AIT-KADIB, D. and RUIZC, A. (2017): An advanced dynamic risk modeling and analysis in projects management. **Journal of Modern Project Management**, 5, 6-11.
- [16] JAYANTHI, J., KAUR, G. and JOSEPH K, S. (2017): FINANCIAL FORECASTING USING DECISION TREE (REPTree & C4.5) AND NEURAL NETWORKS (K*) FOR HANDLING THE MISSING VALUES. **ICTACT JOURNAL ON SOFT COMPUTING**, 7.
- [17] JOHNSON, J. (2018): **CHAOS Report: Decision Latency Theory: It Is All About the Interval**. USA.
- [18] KHODAKARAMI, V. and ABDI, A. (2014): Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items. **International Journal of Project Management**, 32, 1233-1245.
- [19] KOSKO, B. (1986): Fuzzy cognitive maps. **International Journal of Man-Machine Studies**, 24, 65-75.
- [20] KULKARNI, P., LONDHE, S. and DEO, M. (2017): Artificial Neural Networks for Construction Management: A Review. **Soft Computing in Civil Engineering**, 1, 70-88.
- [21] LAZZERINI, B. and MKRTCHYAN, L. (2011): Analyzing Risk Impact Factors Using Extended Fuzzy Cognitive Maps. **IEEE Systems Journal**, 5, 288-297.
- [22] MPELOGIANNI, V. and GROUMPOS, P.P. (2018): Re-approaching fuzzy cognitive maps to increase the knowledge of a system. **AI & Soc**, 33, 175-188.
- [23] ORŁOWSKI, C. (2014): Rule-Based Model for Selecting Integration Technologies for Smart Cities Systems. **Cybernetics and Systems**, 45, 136-145.
- [24] PANAGIOTIS CHYTAS, MICHAEL GLYKAS and GEORGE VALIRIS (2010): Software Reliability Modelling Using Fuzzy Cognitive Maps. **Fuzzy Cognitive Maps Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications, Studies in Fuzziness and Soft Computing**, 217–230. Springer, Berlin.
- [25] PAPAGEORGIOU, E., STYLIOS, C. and GROUMPOS, P. (2006): Introducing Interval Analysis in Fuzzy Cognitive Map Framework. **Hellenic Conference on Artificial Intelligence, Crete, Greece**.
- [26] PÉREZ, P.P. et al. (2019): Repositorio de datos para investigaciones en gestión de proyectos. **Revista Cubana de Ciencias Informáticas**, 13, 176–191.
- [27] PEREZ, Y.F., CORONA, C.C. and GALDEANO, J.L.V. (2018): A New Model Based on Soft Computing for Evaluation and Selection of Software Products. **IEEE Latin America Transactions**, 16, 1186- 1192.
- [28] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (2017): **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)**. USA.

- [29] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (2015): Capturing the Value of Project Management Through Decision Making. **Pulse of the Profession**.
- [30] SALMERON, J.L. (2009): Supporting Decision Makers with Fuzzy Cognitive Maps. **Research-Technology Management**, 52, 53-59.
- [31] SALMERON, J.L. (2010): Modelling grey uncertainty with Fuzzy Grey Cognitive Maps. **Expert Systems with Applications**, 37, 7581-7588.
- [32] SOLANA-GUTIÉRREZ, J., RINCÓN, G., ALONSO, C. and GARCÍA-DE-JALÓN, D. (2017): Using fuzzy cognitive maps for predicting river management responses: A case study of the Esla River basin, Spain. **Ecological Modelling**, 360, 260-269.
- [33] STACH, W. and KURGAN, L. (2004): Modeling Software Development Projects Using Fuzzy Cognitive Maps. **Proceedings of the 4th ASERC Workshop on Quantitative and Soft Software Engineering**, Banff, Alberta, Canada.
- [34] STACH, W. and KURGAN, L. (2004): Parallel Fuzzy Cognitive Maps as a Tool for Modeling Software Development Projects. **IEEE Annual Meeting of the Fuzzy Information**, Banff, Alberta, Canada.
- [35] STACH, W., KURGAN, L., PEDRYCZ, W. and REFORMAT, M. (2005): Genetic learning of fuzzy cognitive maps. **Fuzzy Sets and Systems**, 153, 371-401.
- [36] STARCZEWSKI, J.T. (2012): **Advanced Concepts in Fuzzy Logic and Systems with Membership Uncertainty**. Poland.
- [37] TEAM, C.P. (2010): **CMMI Para el desarrollo, versión 1.3: Guía para la integración de procesos y la mejora de productos**. New York.
- [38] VARGAS, R. V. (2015): Applying Neural Networks and Analogous Estimating to Determine the Project Budget. **PMI@ Global Congress 2015, North America, Orlando**.
- [39] YOON, Y., JUNG, J. and HYUN, C. (2016): Decision-making Support Systems Using Case-based Reasoning for Construction Project Delivery Method Selection: Focused on the Road Construction Projects in Korea. **The Open Civil Engineering Journal**, 10, 500-512.
- [40] ZARE RAVASAN, A. and MANSOURI, T. (2016): A dynamic ERP critical failure factors modelling with FCM throughout project lifecycle phases. **Prod Plann Control**, 27, 65-82.
- [41] ZADEH, L.A. (1965): Fuzzy sets. **Information and Control**, 8, 338-353.