

NÚMEROS NEUTROSÓFICOS DE VALOR ÚNICO Y PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO PARA LA DISCRIMINACIÓN DE PROYECTOS

Ariel Romero Fernández^{1*}, Rogelio Meléndez Carballido**, Alexandra Andino Herrera**

* Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua, Ecuador

** Universidad Regional Autónoma de los Andes, Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador

ABSTRACT

Neutrosophic sets and their application in support of decision-making have become a topic of paramount importance. In this document, a new model for decision-making is presented for the selection of projects based on single-value neutrosophic numbers (SVN numbers) and the analytical hierarchical process (AHP). The proposed framework consists of five activities: reference framework, criteria weighting, information gathering, classification of alternatives and project selection. The project alternatives are classified according to the aggregation operator and the classification of the alternatives is based on the scoring and precision functions. The AHP method that allows a correct weighting of the different criteria involved is included. In addition, the common decision resolution scheme is used to help decision makers reach a reliable decision by providing methodological support. A case study is developed showing the applicability of the proposal for the selection of information technology projects. Further works will focus on extending the proposal for group decision making and developing a software tool.

KEYWORDS: Decision Analysis, SVN Numbers, analytic hierarchy process, project selection.

RESUMEN

Los conjuntos neutrosóficos y su aplicación en apoyo a la toma de decisiones se han convertido en un tema de gran importancia. En este documento, se presenta un nuevo modelo para la toma de decisiones en la selección de proyectos basado en números neutrosóficos de valor único (números SVN) y el proceso jerárquico analítico (AHP). El marco propuesto se compone de cinco actividades: marco de referencia, ponderación de criterios, recopilación de información, clasificación de alternativas y selección de proyectos. Las alternativas del proyecto se clasifican según el operador de agregación y la clasificación de las alternativas se basan en las funciones de puntuación y precisión. Se incluye el método AHP que permite una ponderación correcta de los diferentes criterios involucrados. Además, se utiliza el esquema de resolución de decisión común para ayudar a los responsables de la toma de decisiones a llegar a una decisión confiable brindando apoyo metodológico. Se desarrolla un caso de estudio que muestra la aplicabilidad de la propuesta para la selección de proyectos de tecnologías de la información. Otros trabajos se concentrarán en extender la propuesta para la toma de decisiones grupales y desarrollar una herramienta de software.

PALABRAS CLAVE: Análisis de decisiones, números SVN, proceso analítico jerárquico, selección de proyectos.

1. INTRODUCCIÓN

La lógica difusa o lógica multivalor se basa en la teoría de conjuntos difusos propuesta por Zadeh [1], para ayudar a modelar el conocimiento de una manera más natural. La idea básica es la noción de la relación de pertenencia que toma valores de verdad en el intervalo cerrado de números reales $[0, 1]$ [2].

K. Atanassov introdujo el conjunto difuso intuicionista (IFS) en un universo como una generalización de los conjuntos difusos [3]. En IFS, además del grado de pertenencia $(\mu_A(x) \in [0,1])$ de cada elemento $x \in X$ a un conjunto A , se consideró un grado de no pertenencia $\nu_A(x) \in [0,1]$, tal que:

$$\forall x \in X \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1 \quad (1)$$

Más tarde, el conjunto neutrosófico (NS) fue introducido por F. Smarandache, quien presentó el grado de indeterminación (i) como componente independiente [4].

El análisis de decisiones es una disciplina cuyo objetivo es calcular una evaluación general que resume la información recopilada y proporciona información útil sobre cada elemento evaluado [5]. En la toma de decisiones del mundo real, se presentan incertidumbres y se recomienda el uso de información lingüística para modelar y gestionar dicha incertidumbre [6].

¹ dir.investigacion@uniandes.edu.ec

Los expertos se sienten más cómodos proporcionando su conocimiento utilizando términos cercanos a la forma en que los seres humanos usan [7] por medio de variables lingüísticas. Una variable lingüística es una variable cuyos valores son palabras o frases en un lenguaje natural o artificial [8].

Debido a la naturaleza imprecisa de las evaluaciones lingüísticas, se han desarrollado nuevas técnicas. Los conjuntos neutrosóficos de valor único (SVNS) [9] para el manejo de información indefinida e inconsistente es un enfoque relativamente nuevo. En este documento, se desarrolla un nuevo modelo de selección de proyecto basado en un número neutrosófico de valor único (número SVN) que permite el uso de variables lingüísticas [10, 11] y el proceso jerárquico analítico (AHP) para los criterios de ponderación según su importancia [12]. Los criterios de ponderación son importantes en los problemas de toma de decisiones. En algunas propuestas similares se da peso pero no se explica ningún método [13] o [14]. Además, el esquema común de resolución de decisiones para ayudar a los decisores a alcanzar una decisión confiable se usa para brindar un apoyo metodológico sólido.

Este documento está estructurado de la siguiente manera: la Sección 2 revisa algunos conceptos preliminares sobre el marco de análisis de decisión, los números SVN y el método AHP para encontrar el peso de los atributos. En la Sección 3, un marco de análisis de decisiones basado en números SVN para la selección de proyectos. La sección 4 muestra un caso de estudio del modelo propuesto. El documento termina con conclusiones y recomendaciones de trabajo adicionales.

2. PRELIMINARES

En esta sección, primero proporcionamos una breve revisión de un esquema de decisión general, el uso de información lingüística mediante números SVN para la selección de proyectos y el Proceso Jerárquico Analítico.

2.1 Esquema de decisión

El análisis de decisiones es una disciplina cuyo objetivo es ayudar a quienes toman las decisiones a alcanzar una decisión confiable.

Un esquema común de resolución de decisiones consta de las siguientes fases [6, 15]:

- Identificar decisiones y objetivos.
- Identificar alternativas.
- Marco de referencia.
- Recopilación de información.
- Valoración de las alternativas.
- Elegir la(s) alternativa(s):
- Análisis sensible.
- Tomar una decisión.

Durante la fase marco de referencia, se definen las estructuras y elementos del problema de decisión. Los expertos proporcionan información, de acuerdo con el marco definido.

La información suministrada por los expertos se agrega luego en la fase de calificación para obtener un valor colectivo de alternativas. En la fase de calificación, es necesario llevar a cabo un proceso de resolución para calcular las evaluaciones colectivas para el conjunto de alternativas, utilizando operadores de agregación [16].

Los operadores de agregación son importantes en la toma de decisiones. El operador de agregación, \mathbb{C} [17], es una función con la siguiente forma:

$$\mathbb{C}: N^n \rightarrow N \quad (2)$$

Algunos ejemplos de operadores son la media de Bonferroni, que es un operador de agregación muy útil, y puede considerar las correlaciones entre los argumentos agregados [18-20], el operador geométrico ponderado [21, 22], las medias Heronianas para considerar las interrelaciones entre los parámetros [23, 24] y el operador de agregación Heroniano [25] entre otros.

La selección de proyectos es un problema de decisión multicriterio [26]. Este hecho hace que el proceso de selección de proyectos de sistemas de información sea adecuado para el modelo de esquema de análisis de decisión.

2.2 Números SVN

La neutrosófia es una teoría matemática desarrollada por Florentín Smarandache para tratar la indeterminación. [27]. Ha sido la base para el desarrollo de nuevos métodos para manejar información indeterminada e inconsistente como los conjuntos neutrosóficos y la lógica neutrosófica y, especialmente, en los problemas de toma de decisiones [28, 29][26].

El valor de verdad en el conjunto neutrosófico es el siguiente [27]:

Sea N un conjunto definido como: $N = \{(T, I, F) : T, I, F \subseteq [0, 1]\}$, una valoración neutrosófica n es un mapeo del conjunto de fórmulas proposicionales, es decir que para cada sentencia p tenemos $v(p) = (T, I, F)$.

El conjunto neutrosófico de valor único (SVNS) [9] se desarrolló con el objetivo de facilitar las aplicaciones en el mundo real de los conjuntos de neutrosóficos y los operadores de conjuntos teóricos. Un conjunto neutrosófico de valor único es un caso especial de conjunto neutrosófico, propuesto como una generalización de los conjuntos clásicos, conjuntos difusos y conjuntos difusos intuicionistas para tratar información incompleta [10].

Un conjunto neutrosófico de valor único (SVNS) se define de la siguiente manera (Definición 1) [9]:

Definición 1: Sea X un universo de discurso. Un conjunto neutrosófico de valor único A sobre X es un objeto que tiene la forma de:

$$A = \{(x, (x), (x), (x)) : x \in X\} \quad (3)$$

Donde $u_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$, $r_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$ y $v_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$ con $0 \leq u_A(x) + r_A(x) + v_A(x) \leq 3$ para todos los $x \in X$. Los intervalos $u_A(x)$, $r_A(x)$ y $v_A(x)$ denotan el grado de pertenencia de verdad, el grado de pertenencia de indeterminación y el grado de pertenencia de falsedad de x al conjunto A respectivamente.

Los números neutrosóficos de valor único (número SVN) se denotan por $A = (a, b, c)$, donde $a, b, c \in [0, 1]$ y $a+b+c \leq 3$.

Las alternativas se clasifican frecuentemente según la distancia de Euclidiana en SVN [28-30].

Definición 2: Sea $A^* = (A_1^*, A_2^*, \dots, A_n^*)$ un vector de n números SVN tal que $A_j^* = (a_j^*, b_j^*, c_j^*)$ $j=(1, 2, \dots, n)$ y $B_i = (B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{im})$ ($i = 1, 2, \dots, m$) sean m vectores de n números SVN tales que $B_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ($i = 1, 2, \dots, m$), ($j = 1, 2, \dots, n$). Entonces la medida de separación entre B_i 's y A^* se define como sigue:

$$s_i = \left(\frac{1}{3} \sum_{j=1}^n \left\{ (|a_{ij} - a_j^*|)^2 + (|b_{ij} - b_j^*|)^2 + (|c_{ij} - c_j^*|)^2 \right\} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

($i = 1, 2, \dots, m$)

En [31] se pueden encontrar algunas medidas de similitud de vectores híbridos y medidas de similitud de vectores híbridos ponderados para conjuntos neutrosóficos de valor único e intervalo.

En los problemas del mundo real, a veces podemos usar términos lingüísticos como "bueno", "malo" para describir el estado o el rendimiento de una alternativa y no podemos usar algunos números para expresar información cualitativa [32].

El modelo lingüístico de 2 tuplas [33] podría usarse para información cualitativa pero carece de indeterminación. En este documento, el concepto de variables lingüísticas [34] se usa por medio de números neutrosóficos de valor único [29] para desarrollar un marco para el apoyo a la decisión debido al hecho de que proporciona modelos computacionales adecuados para tratar la información lingüística [34] en la decisión permitiendo incluir el manejo de lo indeterminado e inconsistente en la selección de proyectos.

2.3 El método AHP

El Proceso Jerárquico Analítico (AHP) es una técnica creada por Tom Saaty [35] para tomar decisiones complejas. Los pasos para implementar el modelo de AHP son [36]:

1. Descomponer el problema en una jerarquía de objetivos, criterios, subcriterios y alternativas.
2. Recopilar datos de expertos o decisores correspondientes a la estructura jerárquica, comparando por pares las alternativas en una escala cualitativa.
3. Asignar un peso a los criterios y subcriterios.
4. Calcular la puntuación para cada una de las alternativas a través de la comparación por pares.

Una de las grandes ventajas del proceso jerárquico analítico es su simplicidad. Independientemente de la cantidad de criterios involucrados en la toma de decisiones, el método AHP solo requiere comparar un par de elementos. Otra ventaja importante es que permite la inclusión de variables tangibles como el costo, el tiempo y las variables intangibles como comodidad, belleza en la decisión [37].

La ponderación de los criterios es importante para la toma de decisiones. En algunos ejemplos se da una ponderación, pero no se explica ningún método [13, 38] o [14]. En este trabajo, la integración del modelo

AHP con la selección de proyectos permite asignar un peso a cada uno de los criterios involucrados, más a tono con la realidad y, por lo tanto, más confiables.

3. MARCO PROPUESTO

Nuestro objetivo es desarrollar un marco para la selección de proyectos basado en números SVN y el método AHP. El modelo se ha adaptado del esquema de decisión común mostrado en la Fig. 1.

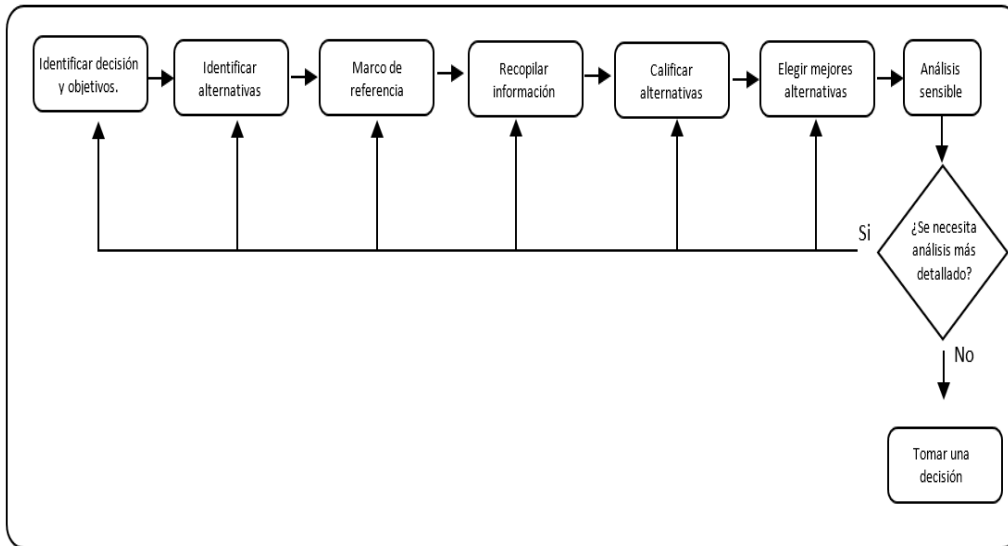


Figura 1: Esquema de resolución de decisiones.

El modelo se compone de las siguientes fases (fig. 2).

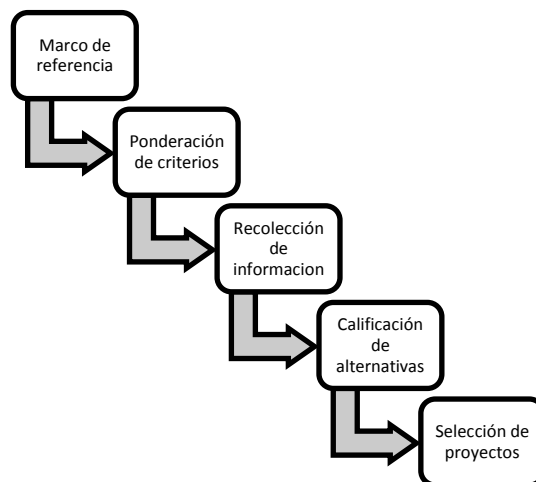


Figura 2: Marco para la selección de proyectos.

El marco propuesto está compuesto por cinco actividades:

- Marco de referencia
- Ponderación de criterios
- Recopilación información,
- Calificación de alternativas
- Selección de proyectos.

A continuación, se describe con más detalle el método de decisión propuesto, mostrándose el funcionamiento de cada fase.

Marco de referencia

En esta fase, el marco de evaluación, se define el problema de decisión de la selección de proyectos. El marco se establece de la siguiente manera:

- $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ con $n \geq 2$, un conjunto de criterios.
- $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ con $k \geq 1$, un conjunto de expertos.
- $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ con $m \geq 2$, un conjunto finito de alternativas de proyectos de tecnologías de la información.

Criterios y expertos podrían agruparse. El conjunto de expertos proporcionará las evaluaciones del problema de decisión.

Ponderación de criterios

El primer paso en un análisis de AHP es construir una jerarquía, también llamada modelado de decisión, y consiste simplemente en construir una jerarquía para analizar la decisión.

El segundo paso en el proceso de AHP es derivar los pesos relativos para los criterios. Se llama relativo porque los criterios obtenidos se miden entre sí mediante la escala de comparación de Saaty (Tabla I).

Juicio verbal	Valor numérico
Extremadamente importante	9
	8
Muy fuertemente más importante	7
	6
Fuertemente más importante	5
	4
Moderadamente más importante	3
	2
Igualmente importante	1

Tabla I. Escala de comparación por pares de Saaty

En base a las respuestas de los expertos, se deriva una matriz de preferencias para cada encuestado para cada criterio involucrado en la decisión con el siguiente formato.

Objetivo	Criterio 1	Criterio 2	...	Criterio n
Criterio 1				
Criterio 2				
...				
Criterio n				

Tabla II. Matriz de comparación de criterios por pares

Las celdas en las matrices de comparación tendrán un valor de la escala numérica que se muestra en la Tabla I, para reflejar la preferencia relativa también llamada juicio de intensidad o simplemente juicio en cada uno de los pares comparados [37].

Si a_{ij} es el elemento de la fila i columna j de la matriz, entonces la diagonal inferior se llena con la siguiente fórmula:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \tag{5}$$

Tenga en cuenta que todos los elementos de la matriz de comparación son positivos, $a_{ij} > 0$.

Para calcular los pesos de los criterios, el método aproximado se considera el más simple. El método aproximado para AHP requiere la normalización de la matriz de comparación, agregando los valores en cada columna. A continuación, cada celda se divide por el total de la columna.

Se propone otro enfoque en [39] basado en las medias geométricas de fila de la matriz de comparación por pares:

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} \tag{6}$$

Saaty [40] propuso el método de valor propio calculando el vector propio principal w' . Este vector

corresponde al valor propio más grande, λ_{max} de la matriz D, como sigue:

$$Dw' = \lambda_{max}w' \quad (7)$$

Se han desarrollado algunos debates, pero no hay una conclusión clara sobre el mejor método para determinar el peso.

Una vez que se han ingresado los juicios, es necesario verificar que sean consistentes. AHP calcula una relación de consistencia (CR) comparando el índice de consistencia (IC) de la matriz con nuestros juicios versus el índice de consistencia de una matriz aleatoria (RI) [41]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

Se acepta una relación de consistencia (CR) de 0.10 o menos para continuar el análisis de AHP. Si la coherencia es mayor que 0.10, es necesario revisar los juicios para localizar la causa de la inconsistencia y luego corregirla [41].

Recopilación de información

En esta fase, cada experto, e_k proporciona las evaluaciones mediante vectores de evaluación:

$$U^k = (v_{ij}^k, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m) \quad (9)$$

La evaluación v_{ij}^k , proporcionada por cada experto e_k , para cada criterio c_i de cada alternativa de proyecto x_j , se expresa mediante números SVN.

Dado que los humanos pueden sentirse más cómodos usando palabras por medio de etiquetas o términos lingüísticos para articular sus preferencias, las calificaciones de cada alternativa con respecto a cada atributo se dan como variables lingüísticas caracterizadas por números SVN en el proceso de evaluación.

La granularidad de las evaluaciones lingüísticas podría variar según la incertidumbre y la naturaleza de los criterios, así como los antecedentes de cada experto.

Calificación de las alternativas

El objetivo de esta fase es obtener una evaluación global para cada alternativa. Teniendo en cuenta la fase previa, se realiza una evaluación para cada alternativa, utilizando el proceso de resolución seleccionado que permite gestionar la información expresada en el marco de decisión.

La información se agrupa seleccionando operadores de agregación para obtener una evaluación global para cada alternativa que resuma la información recopilada.

En este caso, las alternativas se clasifican de acuerdo con el operador de agregación de promedios ponderados neutrosóficos de valor único (SVNWA) que Ye [42] propuso para los SVNS de la siguiente manera [10]:

$$F_w(A_1, A_2, \dots, A_n) = \langle 1 - \prod_{j=1}^n (1 - T_{A_j}(x))^{w_j}, \prod_{j=1}^n (I_{A_j}(x))^{w_j}, \prod_{j=1}^n (F_{A_j}(x))^{w_j} \rangle \quad (10)$$

donde $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ es el vector de ponderación de A_j ($j = 1, 2, \dots, n$), $w_n \in [0, 1]$ y $\sum_j^n w_j = 1$.

o el operador de agregación de promedios geométricos ponderados neutrosóficos de valor único (G_w) [42]:

$$G_w(A_1, A_2, \dots, A_n) = \langle 1 - \prod_{j=1}^n T_{A_j}(x)^{w_j}, \prod_{j=1}^n I_{A_j}(x)^{w_j}, \prod_{j=1}^n F_{A_j}(x)^{w_j} \rangle \quad (11)$$

donde $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ es el vector de ponderación de A_j ($j = 1, 2, \dots, n$), $w_n \in [0, 1]$ and $\sum_j^n w_j = 1$.

Los pesos (w) en ambos casos se obtienen por el método AHP en la fase 2.

Selección de proyectos

En esta fase se clasifican las alternativas y la función de puntuación [43, 44] elige la más deseable. De acuerdo con las funciones de puntuación y precisión para conjuntos SVN, se puede generar un orden de clasificación del conjunto de alternativas [45, 46]. Seleccionando la(s) opción(es) con puntuaciones más altas.

Para ordenar alternativas se usa una función de puntuación [47]:

$$s(V_j) = 2 + T_j - F_j - I_j \quad (12)$$

Adicionalmente se define una función de precisión:

$$a(V_j) = T_j - F_j \quad (13)$$

Y entonces

1. Si $s(V_j) < s(V_i)$, entonces V_j es menor que V_i , denotado por $V_j < V_i$
2. Si $s(V_j) = s(V_i)$
 - a. Si $a(V_j) < a(V_i)$, entonces V_j es menor que V_i , denotado por $V_j < V_i$
 - b. Si $a(V_j) = a(V_i)$, entonces V_j y V_i son iguales, denotado por $V_j = V_i$

Otra opción es usar la función de puntuación propuesta en [29]:

$$s(V_j) = (1 + T_j - 2F_j - I_j)/2 \tag{14}$$

donde $s(V_j) \in [-1,1]$.

Si $s(V_j) < s(V_i)$, entonces V_j es menor que V_i , denotado por $V_j < V_i$

De acuerdo con el método de clasificación de la función de puntuación de conjuntos SVN, se puede generar el orden de clasificación del conjunto de alternativas del proyecto y se puede determinar la mejor alternativa.

4. EJEMPLO ILUSTRATIVO

En esta sección, presentamos un ejemplo ilustrativo para mostrar la aplicabilidad del marco propuesto para la selección de proyectos de tecnologías de la información.

En el mundo actual, resulta provechoso para cualquier empresa y es de hecho, prácticamente inconcebible la existencia de una empresa que no tenga presencia en internet, pues esto trae consigo numerosas ventajas, dentro de las que podemos destacar las siguientes:

- Darse a conocer y conseguir publicidad con el mayor alcance y un mínimo de costo.
- Ofrecer atención al cliente las 24 horas y generar retroalimentación.
- Conseguir nuevos clientes y afianzar los ya conseguidos.
- Posicionarse y ser encontrado cuando se hagan búsquedas en internet.

Pero dado el sinnúmero de tecnologías y plataformas existentes en la actualidad, y su constante y creciente desarrollo y diversificación, la tarea de seleccionar cuál es la mejor opción para desarrollar una aplicación web puede tornarse un tanto engorrosa.

En este caso de estudio, el marco de evaluación está compuesto por un experto que evalúa 3 alternativas de proyectos de desarrollo de tecnologías de la información (aplicaciones Web).

x_1 : SPA.

x_2 : PWA.

x_3 : Aplicación Web tradicional.

Estos proyectos se describen en la Tabla III.

Id	Nombre	Descripción
1	SPA.	Aplicación Web de una sola Página (Single Page Application)
2	PWA.	Aplicación Web Progresiva (Progressive Web Application)
3	Aplicación Web tradicional.	Aplicación Web Tradicional

Tabla III. Opciones de Proyectos

Se incluyen 3 criterios, que se muestran a continuación:

c_1 : Versatilidad

c_2 : Factibilidad

c_3 : Beneficios

En la Tabla 2, proporcionamos el conjunto de términos lingüísticos utilizados por los expertos para proporcionar las evaluaciones.

Término Lingüístico	Conjuntos SVNS
Extremadamente bueno (EB)	(1,0,0)
Muy muy bueno (MMB)	(0.9, 0.1, 0.1)
Muy bueno (MB)	(0.8,0,15,0.20)
Bueno (B)	(0.70,0.25,0.30)
Medio bueno (MDB)	(0.60,0.35,0.40)
Medio (MD)	(0.50,0.50,0.50)
Medio malo (MDM)	(0.40,0.65,0.60)
Malo (M)	(0.30,0.75,0.70)
Muy malo (MM)	(0.20,0.85,0.80)
Muy muy malo (MMM)	(0.10,0.90,0.90)
Extremadamente malo (EM)	(0,1,1)

Tabla IV. Términos lingüísticos utilizados para hacer las evaluaciones [29]

Una vez que se ha determinado el marco de evaluación, se recopila la información sobre los proyectos (ver Tabla III).

	x_1	x_2	x_3
c_1	MDB	EB	MDB
c_2	B	MDB	MD
c_3	MDB	MDB	B

Tabla V. Resultados de la recopilación de información.

Usando el método AHP se obtuvo la siguiente estructura de pesos (Tabla IV). Estos se traducen en un vector de peso asociado con el criterio $W = (0.55, 0.26, 0.19)$.

Pesos				
Criterios	c_1	c_2	c_3	Pesos
c_1	1	3	2	0.55
c_2	1/3	1	2	0.26
c_3	1/2	1/2	1	0.19

Tabla VI. Cálculo de los pesos de los criterios.

Para calificar las alternativas se desarrolla un proceso de agregación inicial. Luego, la matriz de decisión SVN agregada obtenida mediante la agregación de opiniones de los decisores se construye mediante la ecuación (10). El resultado se da en la Tabla V.

	Agregación	Función de puntuación	Ordenamiento
x_1	(0.53, 0.4, 0.56)	1.73	2
x_2	(0.43, 0.0, 0.0)	2.43	1
x_3	(0.66, 0.52, 0.63)	1.62	3

Tabla VII. Distancia a la solución ideal

Según la función de puntuación, las tres alternativas se clasifican como: $x_2 \succ x_1 \succ x_3$.

5. CONCLUSIONES

Recientemente, los conjuntos neutrosóficos y su aplicación a la toma de decisiones de múltiples atributos se han convertido en un tema de gran importancia para los investigadores y los profesionales. En este documento, se aplicó un nuevo modelo de selección de proyecto basado en el número SVN que permite el uso de variables lingüísticas. Se incluye el método AHP permitiendo una ponderación correcta de los diferentes criterios involucrados.

Para demostrar la aplicabilidad de la propuesta se muestra un ejemplo ilustrativo. Nuestro enfoque tiene muchas aplicaciones de selección de proyectos que incluyen la indeterminación y la ponderación de los criterios.

Otros trabajos se centrarán en ampliar el modelo para tratar con información heterogénea. Otra área de trabajo futuro es el desarrollo de nuevos modelos de agregación basados en el operador de promedio ponderado ordenado priorizado[48] y la integral de Choquet al considerar las correlaciones entre los

atributos [49].

RECEIVED: NOVEMBER, 2019.

REVISED: MARCH, 2020.

REFERENCIAS

- [1] AL-HARBI, K. M. A.-S. (2001) Application of the AHP in project management, **International journal of project management**, 19, 19-27.
- [2] ATANASSOV, K. T. (1986) Intuitionistic fuzzy sets, **Fuzzy sets and Systems**, 20, 87-96.
- [3] BATISTA HERNÁNDEZ, N., IZQUIERDO, N. V., LEYVA-VÁZQUEZ, M., and SMARANDACHE, F. (2018) Validation of the pedagogical strategy for the formation of the competence entrepreneurship in high education through the use of neutrosophic logic and Iadov technique, **Neutrosophic Sets & Systems**, 23, 45-51.
- [4] BISWAS, P., PRAMANIK, S. y GIRI, B. C. (2016) TOPSIS method for multi-attribute group decision-making under single-valued neutrosophic environment, **Neural computing and Applications**, 27, 727-737.
- [5] BISWAS, P., PRAMANIK, S. y GIRI, B. C. (2016) Aggregation of triangular fuzzy neutrosophic set information and its application to multi-attribute decision making, **Neutrosophic sets and systems**, 12, 20-40.
- [6] BISWAS, P., PRAMANIK, S. y GIRI, B. C. (2016) Value and ambiguity index based ranking method of single-valued trapezoidal neutrosophic numbers and its application to multi-attribute decision making, **Neutrosophic Sets and Systems**, 12, 127-137.
- [7] CABEZAS, R., RUIZ, J. G. y LEYVA, M. (2017) A Knowledge-based Recommendation Framework using SVN, **Neutrosophic Sets and Systems**, 16, 24-27.
- [8] CALVO, T., KOLESÁROVÁ, A., KOMORNÍKOVÁ, M. y MESIAR R. (2002) Aggregation operators: properties, classes and construction methods, En **Aggregation Operators**, 3-104: Springer, Heidelberg.
- [9] CLEMEN, R. T. (1996) **Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis**: Duxbury Press, Pacific Grove.
- [10] CRAWFORD, G. y WILLIAMS, C. (1985) A note on the analysis of subjective judgment matrices, **Journal of mathematical psychology**, 29, 387-405.
- [11] DALAPATI, S., PRAMANIK, S., ALAM, S., SMARANDACHE, F. y ROY, T. K.. (2017) IN-cross Entropy Based MAGDM Strategy under Interval Neutrosophic Set Environment, **Neutrosophic Sets & Systems**, 18, 43-57.
- [12] DELI, I. (2020) Linear weighted averaging method on SVN-sets and its sensitivity analysis based on multi-attribute decision making problems, **TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics**, 10, 128-137.
- [13] ESPINILLA, M., PALOMARES, I., MARTINEZ, L. y RUAN, D. (2012) A comparative study of heterogeneous decision analysis approaches applied to sustainable energy evaluation, **International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems**, 20, 159-174.
- [14] ESTRELLA, F. J., ESPINILLA, M., HERRERA, F. y MARTÍNEZ, L. (2014) FLINTSTONES: A fuzzy linguistic decision tools enhancement suite based on the 2-tuple linguistic model and extensions, **Information Sciences**, 280, 152-170.
- [15] ESTUPIÑAN RICARDO, J., LLUMIGUANO POMA, M. E., ARGÜELLO PAZMIÑO, A. M., ALBÁN NAVARRO, A. D., MARTÍN ESTÉVEZ, L. y BATISTA HERNANDEZ, N. (2019) Neutrosophic model to determine the degree of comprehension of higher education students in Ecuador, **Neutrosophic Sets & Systems**, 26, 55-61.
- [16] HENRÍQUEZ ANTEPARA, E. J., ARZUBE, A., OMAR, O., ARROYAVE, C., ARTURO, J., ALVARADO UNAMUNO E. A. y LEYVA VAZQUEZ, M. (2017), Competencies evaluation based on single valued neutrosophic numbers and decision analysis schema, **Neutrosophic Sets & Systems**, 17, 16-19.
- [17] KLIR, G. y YUAN, B. (1995) **Fuzzy sets and fuzzy logic**: Prentice hall New Jersey.
- [18] LEYVA VÁZQUEZ, M., BATISTA HERNANDEZ, N. y SMARANDACHE, F. (2018) **Métodos Multicriterios Para Determinación De La Efectividad De La Gestión Pública Y El Análisis De La Transparencia**: Infinite Study Pons, Bruselas, 56-68.
- [19] LEYVA VÁZQUEZ, M., SANTOS BAQUERIZO, E., PEÑA GONZÁLEZ, M., CEVALLOS TORRES, L. y GUIJARRO RODRÍGUEZ, A. (2016) The Extended Hierarchical Linguistic Model in Fuzzy Cognitive Maps. En **International Conference on Technologies and Innovation** (pp. 39-50). Springer, Cham.
- [20] LIU, P. (2017) Multiple attribute group decision making method based on interval-valued intuitionistic fuzzy power Heronian aggregation operators, **Computers & Industrial Engineering**, 108, 199-212.
- [21] LIU, P. y CHEN, S.-M. (2017) Group decision making based on Heronian aggregation operators of intuitionistic fuzzy numbers, **IEEE transactions on cybernetics**, 47, 2514-2530.
- [22] LIU, P. y CHEN, S.-M. (2018) Multiattribute group decision making based on intuitionistic 2-tuple linguistic information, **Information Sciences**, 430, 599-619.

- [23] LIU, P., CHEN, S. y LIU, J. (2017) Some intuitionistic fuzzy interaction partitioned Bonferroni mean operators and their application to multi-attribute group decision making, **Information Sciences**, 411, 98-121.
- [24] LIU, P. y LI, H. (2017) Multiple attribute decision-making method based on some normal neutrosophic Bonferroni mean operators, **Neural Computing and Applications**, 28, 179-194.
- [25] LIU, P., LIU, J. y CHEN, S.-M. (2018) Some intuitionistic fuzzy Dombi Bonferroni mean operators and their application to multi-attribute group decision making, **Journal of the Operational Research Society**, 69, 1-24.
- [26] LIU, P., LIU, J. y MERIGÓ, J. M. (2018) Partitioned Heronian means based on linguistic intuitionistic fuzzy numbers for dealing with multi-attribute group decision making, **Applied Soft Computing**, 62, 395-422.
- [27] LIU, P. y SHI, L. (2017) Some neutrosophic uncertain linguistic number Heronian mean operators and their application to multi-attribute group decision making, **Neural Computing and Applications**, 28, 1079-1093.
- [28] LIU, P. y TANG, G. (2016) Multi-criteria group decision-making based on interval neutrosophic uncertain linguistic variables and Choquet integral, **Cognitive Computation**, 8, 1036-1056.
- [29] LIU, P. y TENG, F. (2018) Multiple attribute decision making method based on normal neutrosophic generalized weighted power averaging operator, **International Journal of Machine Learning and Cybernetics**, 9, 281-293.
- [30] LIU, P. y WANG, Y. (2016) Interval neutrosophic prioritized OWA operator and its application to multiple attribute decision making, **Journal of Systems Science and Complexity**, 29, 681-697.
- [31] LIU, P. y WANG, P. (2018) Some q-Rung Orthopair Fuzzy Aggregation Operators and their Applications to Multiple-Attribute Decision Making, **International Journal of Intelligent Systems**, 33, 259-280.
- [32] LIU, P., ZHANG, L., LIU, X. y WANG, P. (2016) Multi-valued neutrosophic number Bonferroni mean operators with their applications in multiple attribute group decision making, **International Journal of Information Technology & Decision Making**, 15, 1181-1210.
- [33] MU, E. y PEREYRA-ROJAS, M. (2018) Understanding the Analytic Hierarchy Process. En: **Practical Decision Making using Super Decisions**, 7-22, Springer, Cham.
- [34] PRAMANIK, S., BISWAS, P. y GIRI, B. C. (2017) Hybrid vector similarity measures and their applications to multi-attribute decision making under neutrosophic environment, **Neural computing and Applications**, 28, 1163-1176.
- [35] PRAMANIK, S., DALAPATI, S., ALAM, S., SMARANDACHE, F. y ROY, T. K. (2018) NS-cross entropy-based MAGDM under single-valued neutrosophic set environment, **Information**, 9, 37-57.
- [36] RIVIECCIO, U. (2008) Neutrosophic logics: Prospects and problems, **Fuzzy sets and systems**, 159, 1860-1868.
- [37] RODRÍGUEZ, R. M. y MARTÍNEZ, L. (2013) An analysis of symbolic linguistic computing models in decision making, **International Journal of General Systems**, 42, 121-136.
- [38] SAATY, T. L. (1980) **The analytical hierarchical process**, J Wiley, New York.
- [39] SAATY, T. L. (1988) What is the analytic hierarchy process? En: **Mathematical models for decision support**, 109-121: Springer, Berlín.
- [40] SAATY, T. L. (1990) **Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world**: RWS publications, Pittsburgh.
- [41] ŞAHİN, R. y YİĞİDER, M. (2014) A Multi-criteria neutrosophic group decision making method based TOPSIS for supplier selection, **arXiv preprint arXiv:1412.5077**, Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1412.5077>.
- [42] SMARANDACHE, F. (1998) **Neutrosophy: neutrosophic probability, set, and logic: analytic synthesis & synthetic analysis**, American Research Press, Rehoboth.
- [43] TORRA, V. y NARUKAWA, Y. (2007) **Modeling decisions: information fusion and aggregation operators**: Springer-Verlag, Berlín.
- [44] VAIDYA, O. S. y KUMAR, S. (2006) Analytic hierarchy process: An overview of applications, **European Journal of operational research**, 169, 1-29.
- [45] WANG, H., SMARANDACHE, F., ZHANG, Y. y SUNDERRAMAN, R. (2010) Single valued neutrosophic sets, **Review of the Air Force Academy**, 2010, 1-10.
- [46] YE, J. (2014) Single-valued neutrosophic minimum spanning tree and its clustering method, **Journal of intelligent Systems**, 23, 311-324.
- [47] YE, J. (2014) A multicriteria decision-making method using aggregation operators for simplified neutrosophic sets, **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, 26, 2459-2466.
- [48] ZADEH, L. (1965) Fuzzy sets, **Journal of Information and Control**, 8, 338-353.
- [49] ZADEH, L. A. (1975) The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I, **Information sciences**, 8, 199-249.