

# Análisis y evaluación de la calidad del servicio técnico en Cuba con el método TOPSIS

## *Analysis and evaluation of the quality of technical service in Cuba with the TOPSIS method*

Nelson Alexey Castro Torres<sup>1</sup> \*, Eduardo Sierra Gil<sup>II</sup>, Eduardo López Pérez<sup>I</sup>

<sup>I</sup> Universidad de Oriente (UO). Santiago de Cuba, Cuba

<sup>II</sup> Universidad Ignacio Agramonte y Loinaz (UC), Camagüey, Cuba

\*Autor de la correspondencia: [ncastro@uo.edu.cu](mailto:ncastro@uo.edu.cu)

Recibido: 7 de junio de 2024

Aprobado: 7 de septiembre de 2024

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



### RESUMEN/ ABSTRACT

Los indicadores de calidad del servicio eléctrico se analizan y gestionan estadísticamente para generar informes que reflejen las deficiencias del sistema eléctrico, lo que permite diseñar y aplicar las mejoras respectivas. Este trabajo se lleva a cabo con el objetivo de conocer la calidad del servicio técnico en Cuba en el año 2020, según lo establecido por la UR-BD 0101:2004 de la Unión Eléctrica Nacional (UNE), mediante el método de optimización multicriterio, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Su principal contribución es el análisis de indicadores de calidad del servicio técnico en Cuba para el año 2020, con la implementación de la técnica de optimización TOPSIS, novedosa en el área de aplicación en el país, mostrando resultados satisfactorios a la hora de implementar el método y determinando cuales fueron las provincias que incumplieron con los niveles de calidad brindada en el año de estudio.

**Palabras clave:** calidad en el suministro de electricidad, calidad del servicio técnico, indicadores de calidad, TOPSIS.

The quality indicators of the electrical service are analyzed and managed statistically to generate reports that reflect the deficiencies of the electrical system, which allows the respective improvements to be designed and applied. This work is carried out with the objective of knowing the quality of the technical service in Cuba in the year 2020, as established by UR-BD 0101:2004 of the National Electrical Union (UNE), through the discrete multicriteria optimization method, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Its main contribution is the analysis of quality indicators of the technical service in Cuba for the year 2020, with the implementation of the TOPSIS optimization technique, novel in the area of application in the country. Showing satisfactory results when implementing the method and determining which provinces did not comply with the quality levels provided in the year of study.

**Keywords:** Quality of energy supply, quality of technical service, quality indicators, TOPSIS.

### INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país se mide entre otros elementos por el nivel de electrificación y la calidad del servicio eléctrico que el mismo posee, debido a que la electricidad es la principal fuente de energía para la realización de la inmensa mayoría de las actividades productivas, económicas, administrativas y de servicios.

Cómo citar este artículo:

Nelson Alexey Castro Torres y otros. Análisis y evaluación de la calidad del servicio técnico en Cuba con el método TOPSIS. Ingeniería Energética. 2024. 45 (2), mayo/agosto. ISSN 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

El Marco Normativo Europeo (IEC), Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) e Iberoamericano (CIER), coinciden en señalar que la calidad del servicio eléctrico puede ser estudiada desde tres aspectos distintos [1, 2]:

- a) La calidad del producto técnico.
- b) La calidad del suministro o servicio técnico.
- c) La calidad comercial.

Las dos primeras categorías están referidas a la calidad técnica. A nivel internacional, no existe un consenso o norma que especifique los aspectos más importantes de la atención comercial, pero si hay indicadores comunes en los cuales se mencionan: el tiempo medio de resolución de las reclamaciones, tiempo de espera medio para ser atendido por teléfono u otro medio de atención y tiempo medio de conexión para la atención de una solicitud para un nuevo servicio. Lo más importante en el tema de la atención comercial es la satisfacción de los usuarios con el servicio ofrecido y el suministro de energía entregado [1, 3- 5].

En Cuba, es de vital importancia el análisis de calidad, y es la quinta línea de investigación del grupo de desarrollo de la Unión Eléctrica (UNE), abordado y analizado en III Evento Nacional de Innovación Tecnológica del 2017. En este trabajo solo se abordará el análisis de la Calidad del suministro o Calidad del Servicio Técnico (CST), mediante el método de optimización multicriterio TOPSIS, desarrollado por Wang y Yoon en (1981), [6]. El método permite identificar o elegir entre diferentes alternativas, aquellas que distan menos de la solución ideal y que están más alejadas de la solución ideal negativa, simultáneamente. De forma algorítmica, el procedimiento puede describirse de la forma siguiente [7-9]:

- Paso 1: Obtención de la matriz de decisión.
- Paso 2: Construcción de la matriz de decisión normalizada.
- Paso 3: Construcción de la matriz de decisión normalizada ponderada.
- Paso 4: Determinar de la solución ideal positiva y negativa.
- Paso 5: Cálculo de las medidas de distancia.
- Paso 6: Cálculo de la distancia relativa de cada alternativa a la solución ideal.
- Paso 7: Ordenación de las preferencias.

El método TOPSIS se utiliza para elegir entre un grupo de alternativas; consiste en que la alternativa seleccionada debe tener la distancia más alejada de la solución negativa ideal en el sentido geométrico. Establecer dos soluciones: la solución ideal positiva (mejor alternativa posible) y la solución ideal negativa (peor alternativa posible), y donde lo que se busca es comparar un conjunto de alternativas calculando la distancia geométrica entre cada elección y la opción ideal. Según Luna (2020) [10], en su tesis de doctorado y Diaz, *et al.* (2023) [8], coinciden que el TOPSIS difuso presentan los mismos pasos que el método clásico y modificado solo varía el paso 1 con la incorporación de los números difusos y el paso 4.

El objetivo de este trabajo es evaluar la CST en Cuba en el año 2020, según lo establecido por la UR-BD 0101:2004 de la Unión Eléctrica Nacional (UNE), mediante el método de optimización multicriterio, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) y lograr el ordenamiento de números difusos con el TOPSIS difuso. Es necesario aclarar que en el caso de la UNE solo se reconoce el Tiempo de Interrupción por Usuario (TIU) y no los otros indicadores como el resto del mundo como son: Número de Interrupción por Usuario (NIU) y Continuidad del Servicio [11].

**Enfoque general relativo de los Índices de CST:** Pueden consultarse los autores Hiluf y Goa Tella (2020), [12], De Mendonça, *et al.* (2023), [13], Fogliatto, *et al.* (2022), [14], Jain y Jain (2021), [15], Olajuyin, *et al.* (2022), [16] y Gustavo (2023), [17].

**Enfoque relativo a los Índices de CST desde la Planificación Óptima de los Sistemas de Distribución:** Pueden consultarse los autores Aschidamini, (2022), [18] y Gustavo (2023) [17].

**Enfoque relativo a los Índices de CST desde la Operación Óptima de los Sistemas de Distribución:** Pueden consultarse los autores Anteneh, *et al.* (2021), [19], Enjavimadar y Rastegar (2022), [20] y Gustavo (2023), [17].

**Enfoque relativo a los Índices de CST considerando Generación Distribuida y Redes Inteligentes:** Pueden consultarse los autores Abreu y Martins (2021), [21], Ahmad, *et al.* (2021), [22], Gomes, *et al.* (2023), [23], Hakimi, *et al.* (2022), [24], Hamidan y Borousan (2022), [25], Idowu, *et al.* (2022), [26], Li, *et al.* (2022), [27], Meera y Hemamalini (2022), [28], Parol, *et al.* (2022), [29], Wu, *et al.* (2022), [30], Yin, *et al.* (2022), [31], Zeng, *et al.* (2022), [32] y Gustavo (2023), [17].

## MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se presentan dos alternativas dependiendo de la naturaleza del problema. En primer lugar, se parte del criterio que se trabaja con datos crisp o números reales o puede aplicarse con números difusos. La forma de obtener los valores que van a formar la matriz de decisión se explica con detenimiento en el paso uno (1). En segundo lugar, siguiendo a [33], que consideran que algunas veces es difícil determinar el valor exacto, se propone recurrir al método TOPSIS considerando en la matriz de decisión datos en intervalos. Ver tabla 1.

**Tabla 1.** Matriz de decisión

	$W_1$	$W_2$	.....	$W_n$
	$C_1$	$C_2$	.....	$C_n$
$A_1$	$X_{11}$	$X_{12}$	.....	$X_{1n}$
$A_2$	$X_{21}$	$X_{22}$	.....	$X_{2n}$
....	.....	.....	.....	.....
$A_n$	$X_{n1}$	$X_{n2}$	.....	$X_{nn}$

Fuente: Elaboración Propia

1° - Construcción de la matriz de decisión: partiendo de  $m$  alternativas  $A_i, i=1, 2, \dots, m$  que serán evaluadas a partir de los criterios  $C_j, j=1, 2, \dots, n$  se obtiene la matriz de decisión que se muestra en la tabla 1, [34]:

Matriz de decisión

Donde  $x_{ij}$  representa la valoración de la alternativa  $A_i$  con respecto al criterio  $C_j$  y,  $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]$  es el vector de pesos asociado a los criterios.

En el caso que se trabajen con números difusos, hay que definir la función o número difuso a implementar con el TOPSIS difuso. Para el análisis de calidad o de optimización con lógica difusa varios autores recomiendan usar la función trapezoidal y la triangular [7, 10, 34], como se muestra a continuación en la tabla 2, teniendo en cuenta una escala de nueve puntos y cinco números difuso triangulares y trapezoidales, con la siguiente función de pertenencia definida en la tabla, la misma puede usarse para transmitir fuerza relativa como para determinar la matriz difusa de decisión para la evaluación del rendimiento [7].

**Tabla 2.** Definición y función de pertenencia de la escala difusa

Intensidad de importancia	Numero difuso	Definición	Función	
			Triangular	Trapezoidal
1	1	Muy Insatisfecho	(0,1,2)	(0, 0, 1.6, 2.6)
3	3	Insatisfecho	(2,3,4)	(1.4, 2.4, 3.6, 4.6)
5	5	Satisfacción Neutral	(4,5,6)	(3.4, 4.4, 5.6, 6.6)
7	7	Satisfecho	(6,7,8)	(5.4, 6.4, 7.6, 8.6)
9	9	Muy Satisfecho	(8,9,10)	(7.4, 8.4, 10, 10)

Fuente: Elaboración Propia

2° - Normalización de la matriz de decisión: los elementos de la matriz de decisión pueden no estar definidos en el mismo dominio y por ello han de ser normalizados. La norma que se utiliza está dada por la ecuación (1), para el método clásico [34] y para el TOPSIS modificado se introducen alternativas ficticias según [35]:

- Clásico:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}; j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (1)$$

Donde  $x_{ij}$  representa la valoración de la alternativa  $A_i$ , de la Matriz de decisión.

- Modificado con introducción de alternativas ficticia:

Al conjunto de las alternativas le añadimos la alternativa que se corresponda con el valor excelente (aquella que estaría valorada por la mejor de las etiquetas para todos los criterios)  $F_1 = (\text{Max } S_1, \dots, \text{Max } S_n)$  y la alternativa que se corresponda con el valor pésimo (aquella que estaría valorada por la peor de las etiquetas, para todos los criterios),  $F_2 = (\text{Min } S_1, \dots, \text{Min } S_n)$  siendo  $S$  el espacio de las valoraciones. Entenderemos estas variables como ficticias.

3° - Construcción de la matriz de decisión normalizada ponderada: los elementos de la matriz de decisión normalizada ponderada V se calcularán con la ecuación (2), [34]:

- Clásico:

$$v_{ij} = w_j \cdot n_{ij}; j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (2)$$

Donde  $w_j$  es el peso asociado a cada criterio. Ver ecuaciones (3 y 4).

- Modificado [9]:

$$n_{ij}^3 = \frac{x_{ij}}{x_{ij}^{\max}}; j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \text{ en el caso de criterios de beneficio} \quad (3)$$

$$n_{ij}^3 = \frac{x_{ij}^{\min}}{x_{ij}}; j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \text{ en el caso de costo} \quad (4)$$

4° - Obtención de la solución ideal positiva (PIS) y la solución ideal negativa (NIS): los valores ideales positivos y negativos ( $A^+$  y  $A^-$ ) se determinan mediante las ecuaciones (5 y 6), respectivamente [34]:

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max v_{ij}, j \in J)(\min v_{ij}, j \in J^1)\} \quad (5)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min v_{ij}, j \in J)(\max v_{ij}, j \in J^1)\} \quad (6)$$

Donde J está asociado con los criterios de beneficio y  $J^1$  está asociado a criterios de coste.

Para el caso que se trabaje con números difusos:

Identificar la solución fuzzy ideales positivos y negativos o anti-ideal ( $A^+$  y  $A^-$ ), evaluada para cada criterio. En el caso de beneficio para la función triangular  $V^+_{ij} = (1,1,1)$  y anti-ideal  $V^-_{ij} = (0,0,0)$  [7, 10], para la función trapezoidal  $V^+_{ij} = (1,1,1,1)$  y anti-ideal  $V^-_{ij} = (0,0,0,0)$  y en ambos casos para el análisis en caso de criterio de costos  $V^+_{ij} = 0$  y  $V^-_{ij} = 1$  [7, 10].

5° - Cálculo de las medidas de distancia: la distancia de cada alternativa a la solución ideal positiva,  $d^+$ , y a la solución ideal negativa,  $d^-$ , está dada por las ecuaciones (7 y 8) respectivamente [34]:

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^i (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^i (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (8)$$

6° - Cálculo de la proximidad relativa a la solución ideal: la proximidad relativa  $R_i$  a la solución ideal positiva se calculará mediante la ecuación (9), [34]:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, \dots, m \quad (9)$$

De forma que cuanto más próximo es el valor de R a la unidad 1, más cerca estará la alternativa i-ésima a la solución ideal.

7° - Ordenación de preferencias: se ordenarán en sentido decreciente las alternativas, comenzando con aquella que más se aproxime a la solución ideal (mayor proximidad relativa) [34].

### Evolución del método hasta la fecha

En ocasiones, se debe seleccionar un subconjunto entre una cantidad numerosa de indicadores, teniendo en cuenta varios criterios. En este trabajo, a partir de las evaluaciones realizadas por un panel de expertos, se utilizó el método TOPSIS – en dos escenarios distintos: con datos crisp y datos en intervalos- para ordenar y seleccionar indicadores.

Además, en el método TOPSIS con datos crisp se propone un criterio de agregación de las evaluaciones realizadas por los expertos, basados en la varianza relativa de las puntuaciones. Se recomienda un ordenamiento por intervalos [9]. Con la implementación del MCDM y la lógica difusa se obtiene la mejor alternativa, pero no queda claro el ordenamiento de las mismas. Se recomienda el método TOPSIS Difuso mediante el proceso de la defusificación de centroide para el análisis de calidad [36, 37]. Como resultado del ordenamiento de alternativas difusas y el ranking de la solución más próxima a la ideal [36-38]. Según la bibliografía especializada para el análisis de calidad y la selección de proveedores se recomienda AHP-TOPSIS o TOPSIS-Difuso. Por el trabajo con variables cualitativas y cuantitativas, en situaciones donde los criterios están en conflicto y el riesgo relacionado entre las expectativas del producto y el desempeño real de lo que se espera. Ver tabla 3.

**Tabla 3.** Comparación del método TOSIS Difuso con Distancia Euclidiana en el tiempo

Valoración	TOPSIS Clásico 1976	TOPSIS modificado M <sup>a</sup> del Socorro García Cáscales 2009	
Modifica el orden de las A <sub>ij</sub> si se introduce una nueva A <sub>ij</sub>		Máximo de las alternativas (A <sub>ij</sub> )	Introduce la función de ideal y anti-ideal
Si se introduce una nueva A <sub>ij</sub> con el mismo peso los rankings quedan anulados			
Se elimina la modificación del orden de las A <sub>ij</sub> , pero aparecen las igualdades de las A <sub>ij</sub>			

Fuente: Elaboración propia

Las implementaciones de los TOPSIS muestran, claramente, que el orden de las alternativas cambia si se utiliza el modo relativo o el absoluto, ver tabla 3. El ranking proveniente del modo absoluto presenta menos variaciones frente a cambios en el conjunto de alternativas ya que los cálculos se efectúan con respecto a valores prefijados. En este caso, los límites de los rangos de los criterios. Esto permite dividir un conjunto amplio de alternativas en subgrupos, simplificando el análisis y la toma de decisiones [34].

#### Implementación del TOPSIS en el análisis de la Calidad del Servicio Técnico en Cuba en el año 2020

La implementación del método TOPSIS se realizó con los datos proporcionados por la UNE en el año 2020, para las redes del país en los diferentes niveles de tensión, como se muestra en la tabla 4, para el TIU y la tabla 5, para la cantidad de interrupciones ocurridas en el país.

**Tabla 4.** Comportamiento y planificación del TIU por niveles de tensión de Cuba en el 2020

Provincias	Distribución primaria		Subtransmisión		Transmisión		Nivel Provincial	
	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real
Cienfuegos	14,4	14,74	12,2	12,39	1,01	0	26,6	27,13
Villa Clara	15,44	15,06	14,17	15,74	1,95	1,71	29,61	30,8
Sancti Spíritus	13,53	13,36	10,61	9,95	1,25	1,25	24,14	23,31
Camagüey	15,25	14,73	9,19	11,33	0,72	1,08	24,44	26,06
Holguín	14,56	14,12	12,6	12,49	2,09	1,82	27,16	26,61
Las Tunas	16,45	16,17	8,08	7,82	1,33	0	24,53	23,99
Mayabeque	12,5	12,5	7,32	7,32	0,89	0,81	19,82	19,82
I. de la Juventud	12,16	12,14	7,59	5,48			19,75	17,62
Ciego de Ávila	13,62	16,11	7,6	8,19	1,36	2,73	21,22	24,3
Artemisa	12,6	11,7	9,47	10,26	0,85	1,1	22,07	21,96
La Habana	6,25	6,17	5,61	3,85	0,83	0,28	11,86	10,02
Granma	10,06	10,56	6,68	7,45	0,71	0	16,74	18,01
Stgo de Cuba	9,81	9,29	6,79	6,33	1,66	1,76	16,6	15,62
Guantánamo	7,58	7,4	6,64	5,95	1,89	0,72	14,22	13,35
Matanzas	12,51	12,6	10,12	13,9	1,66	2,39	22,63	26,5
Pinar del Río	16,91	17,73	12,99	12,65	0,96	0,64	29,9	30,38

Fuente: UNE

**Tabla 5.** Comportamiento y planificación de las interrupciones por niveles de tensión de Cuba en el 2020

Provincias	Distribución primaria		Subtransmisión		Transmisión		Nivel Provincial	
	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real
Cienfuegos	91	85	15	10	3	0	106	95
Villa Clara	173	170	38	52	8	7	211	222
Sancti Spíritus	120	116	28	24	2	2	148	140
Camagüey	348	323	55	78	4	6	403	401
Holguín	288	271	75	73	8	7	363	344
Las Tunas	177	174	31	23	2	0	208	197
Mayabeque	256	256	26	25	2	2	282	281
I. de la Juventud	65	65	4	3			69	68
Ciego de Ávila	222	286	17	19	3	6	239	305
Artemisa	331	317	26	28	3	4	357	345
La Habana	461	412	4	1	3	1	465	413
Granma	179	194	17	25	2	0	196	219
Stgo de Cuba	152	168	25	31	6	5	177	199
Guantánamo	121	123	12	8	3	1	133	131
Matanzas	344	360	96	119	9	13	440	479
Pinar del Río	302	308	42	41	3	2	344	349

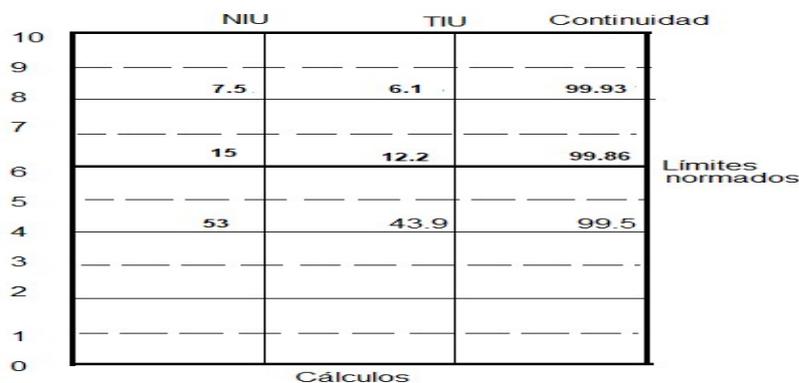
Fuente: Elaboración propia

Para determinar los pesos de cada medición se utilizarán los valores propuestos por la UNE y en función de la escala pareada de Seattly aplicada **por la UNE en Cuba**, como se muestra en la tabla 6. Los valores se hacen coincidir con las mediciones reales y el mapa de normalización, determinando el valor del plan como el mínimo esperado (Límites normalizados) y otorgándole un peso de 6 como se muestra en la figura 1, los valores de aceptables son determinados según criterios de expertos, para el caso de Cuba se recomienda una continuidad del 99.5%, y un TIU correspondiente a este valor de 43.9, cabe destacar que estos valores no son los mismos para cada provincia porque la planificación y el cumplimiento no son iguales y se hacen de forma anual, dependiendo del plan de desarrollo y estratégico de cada zona.

**Tabla 6.** Nivel de satisfacción o (semántica difusa por la UNE)

Valor del ISC		CARACTERÍSTICAS
< 20	Muy Insatisfecho	Son los clientes totalmente insatisfechos en los aspectos básicos del servicio.
20 – 39	Insatisfecho	Son clientes que están insatisfechos en general con los servicios de la empresa.
40 – 39	Satisfacción Neutral	Son clientes que no están satisfechos totalmente, pues aún encuentran algunos aspectos del servicio con los cuales no están conformes.
60 – 79	Satisfecho	Son los clientes satisfechos con los servicios y productos de la empresa, conformes en general. <b>Se cumplen sus expectativas.</b>
80 – 100	Muy Satisfecho	Son aquellos clientes que están muy conformes con los servicios y productos recibidos, siendo totalmente fieles. Se superan sus expectativas.

Fuente: Documento de encuesta UNE



**Fig. 1.** Mapa de normalización para la subtransmisión de Cienfuegos. Fuente Elaboración Propia

El ejemplo de cálculo se aplica para las redes de distribución del país, como se muestra en las tablas 7 y 8, con la implementación de los 7 pasos que conforman el procedimiento del TOPSIS descrito en la introducción. Para el mismo se asume una escala de peso de (1-10), en función del mapa de normalización y la escala de evaluación aplicada por la UNE.

**Tabla 7.** Implementación del método TOPSIS para el análisis de la calidad del servicio técnico en las redes de distribución primaria de Cuba para el año 2020

Paso 1 Matriz de decisión					Paso 2 Matriz de decisión normalizada				Paso 3 Matriz de decisión normalizada ponderada			
Alternativas		Pesos										
Provincias		TIU	INT	CON								
		35	35	30								
A <sub>1</sub>	Cienfuegos	5,906	6,264	5,906	n <sub>1</sub>	0,591	0,626	0,591	v <sub>1</sub>	0,207	0,219	0,177
A <sub>2</sub>	Villa Clara	6,098	6,069	6,098	n <sub>2</sub>	0,610	0,607	0,610	v <sub>2</sub>	0,213	0,212	0,183
A <sub>3</sub>	Sancti Spíritus	6,050	6,133	6,050	n <sub>3</sub>	0,605	0,613	0,605	v <sub>3</sub>	0,212	0,215	0,182
A <sub>4</sub>	Camagüey	6,136	6,287	6,136	n <sub>4</sub>	0,614	0,629	0,614	v <sub>4</sub>	0,215	0,220	0,184
A <sub>5</sub>	Holguín	6,121	6,236	6,121	n <sub>5</sub>	0,612	0,624	0,612	v <sub>5</sub>	0,214	0,218	0,184
A <sub>6</sub>	Las Tunas	6,024	6,068	6,024	n <sub>6</sub>	0,602	0,607	0,602	v <sub>6</sub>	0,211	0,212	0,181
A <sub>7</sub>	Mayabeque	6,000	6,000	6,000	n <sub>7</sub>	0,600	0,600	0,600	v <sub>7</sub>	0,210	0,210	0,180
A <sub>8</sub>	I. de la Juventud	6,007	6,000	6,007	n <sub>8</sub>	0,601	0,600	0,601	v <sub>8</sub>	0,210	0,210	0,180
A <sub>9</sub>	Ciego de Ávila	5,269	4,847	5,269	n <sub>9</sub>	0,527	0,485	0,527	v <sub>9</sub>	0,184	0,170	0,158
A <sub>10</sub>	Artemisa	6,286	6,169	6,286	n <sub>10</sub>	0,629	0,617	0,629	v <sub>10</sub>	0,220	0,216	0,189
A <sub>11</sub>	La Habana	6,051	6,425	6,051	n <sub>11</sub>	0,605	0,643	0,605	v <sub>11</sub>	0,212	0,225	0,182
A <sub>12</sub>	Granma	5,801	5,665	5,801	n <sub>12</sub>	0,580	0,566	0,580	v <sub>12</sub>	0,203	0,198	0,174
A <sub>13</sub>	Stgo de Cuba	6,212	5,579	6,212	n <sub>13</sub>	0,621	0,558	0,621	v <sub>13</sub>	0,217	0,195	0,186
A <sub>14</sub>	Guantánamo	6,095	5,934	6,095	n <sub>14</sub>	0,609	0,593	0,609	v <sub>14</sub>	0,213	0,208	0,183
A <sub>15</sub>	Matanzas	5,971	5,814	5,971	n <sub>15</sub>	0,597	0,581	0,597	v <sub>15</sub>	0,209	0,203	0,179
A <sub>16</sub>	Pinar del Río	5,806	5,921	5,806	n <sub>16</sub>	0,581	0,592	0,581	v <sub>16</sub>	0,203	0,207	0,174
	VF1	10	10	10	nF <sub>1</sub>	1	1	1	vF <sub>1</sub>	0,35	0,35	0,3
	VF2	0	0	0	nF <sub>2</sub>	0	0	0	vF <sub>2</sub>	0	0	0
	Max.	10	10	10	Paso 4: Solución ideal positiva y negativa				A <sup>+</sup>	0,35	0,35	0,3
									A <sup>-</sup>	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla 8.** Implementación del método TOPSIS para el análisis de la calidad del servicio técnico en las redes de distribución primaria de Cuba para el año 2020

Paso 5: Cálculo de las medidas de distancia				Paso 6: Distancia relativa de cada alternativa a la solución ideal			Paso 7: Ranking	
d <sup>+</sup> A <sub>1</sub>	0,230	d <sup>-</sup> A <sub>1</sub>	0,350	RA <sub>1</sub>	0,604	8	Camagüey	0,619
d <sup>+</sup> A <sub>2</sub>	0,226	d <sup>-</sup> A <sub>2</sub>	0,352	RA <sub>2</sub>	0,609	4	La Habana	0,619
d <sup>+</sup> A <sub>3</sub>	0,227	d <sup>-</sup> A <sub>3</sub>	0,352	RA <sub>3</sub>	0,608	5	Holguín	0,616
d <sup>+</sup> A <sub>4</sub>	0,220	d <sup>-</sup> A <sub>4</sub>	0,358	RA <sub>4</sub>	0,619	2	Villa Clara	0,609
d <sup>+</sup> A <sub>5</sub>	0,222	d <sup>-</sup> A <sub>5</sub>	0,357	RA <sub>5</sub>	0,616	3	Sancti Spíritus	0,608
d <sup>+</sup> A <sub>6</sub>	0,229	d <sup>-</sup> A <sub>6</sub>	0,350	RA <sub>6</sub>	0,604	6	Las Tunas	0,604
d <sup>+</sup> A <sub>7</sub>	0,232	d <sup>-</sup> A <sub>7</sub>	0,347	RA <sub>7</sub>	0,600	10	Guantánamo	0,604
d <sup>+</sup> A <sub>8</sub>	0,231	d <sup>-</sup> A <sub>8</sub>	0,348	RA <sub>8</sub>	0,600	9	Cienfuegos	0,604
d <sup>+</sup> A <sub>9</sub>	0,283	d <sup>-</sup> A <sub>9</sub>	0,296	RA <sub>9</sub>	0,511	15	I. de la Juventud	0,600
d <sup>+</sup> A <sub>10</sub>	0,217	d <sup>-</sup> A <sub>10</sub>	0,048	RA <sub>10</sub>	0,181	16	Mayabeque	0,600
d <sup>+</sup> A <sub>11</sub>	0,221	d <sup>-</sup> A <sub>11</sub>	0,358	RA <sub>11</sub>	0,619	1	Stgo de Cuba	0,598
d <sup>+</sup> A <sub>12</sub>	0,246	d <sup>-</sup> A <sub>12</sub>	0,333	RA <sub>12</sub>	0,575	14	Matanzas	0,591
d <sup>+</sup> A <sub>13</sub>	0,233	d <sup>-</sup> A <sub>13</sub>	0,347	RA <sub>13</sub>	0,598	11	Pinar del Río	0,585
d <sup>+</sup> A <sub>14</sub>	0,229	d <sup>-</sup> A <sub>14</sub>	0,349	RA <sub>14</sub>	0,604	7	Granma	0,575
d <sup>+</sup> A <sub>15</sub>	0,237	d <sup>-</sup> A <sub>15</sub>	0,342	RA <sub>15</sub>	0,591	2	Ciego de Ávila	0,511
d <sup>+</sup> A <sub>16</sub>	0,240	d <sup>-</sup> A <sub>16</sub>	0,338	RA <sub>16</sub>	0,585	13	Artemisa	0,181

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9, se muestra el comportamiento de la CST en los diferentes niveles de tensión.

**Tabla 9.** Resultados del análisis de la calidad del servicio técnico por niveles de tensión con el método TOPSIS difusa para el año 2020. Ranking de calidad del servicio técnico

Primario		Subtransmisión		Transmisión		Provincial	
Provincia	Valor	Provincia	Valor	Provincia	Valor	Provincia	Valor
Camagüey	0,619	La Habana	0,778	Cienfuegos	1,000	La Habana	0,656
La Habana	0,619	I. de la Juventud	0,707	Las Tunas	1,000	I. de la Juventud	0,629
Holguín	0,616	Guantánamo	0,674	Granma	1,000	Guantánamo	0,618
Villa Clara	0,609	Las Tunas	0,645	La Habana	0,866	Sancti Spiritus	0,617
Sancti Spiritus	0,608	Cienfuegos	0,642	Guantánamo	0,854	Las Tunas	<b>0,613</b>
Las Tunas	<b>0,604</b>	Sancti Spiritus	0,637	Pinar del Río	0,733	Holguín	<b>0,613</b>
Guantánamo	<b>0,604</b>	Pinar del Río	0,610	Holguín	0,651	Cienfuegos	<b>0,613</b>
Cienfuegos	<b>0,604</b>	Holguín	<b>0,606</b>	Mayabeque	0,623	Artemisa	0,606
I. de la Juventud	<b>0,600</b>	Mayabeque	<b>0,606</b>	Stgo de Cuba	0,608	Mayabeque	0,601
Mayabeque -----	<b>0,600</b>	-----	0,600	Sancti Spiritus	0,600	-----	0,600
Stgo de Cuba	0,598	Stgo de Cuba	0,581	Villa Clara	0,500	Stgo de Cuba	0,596
Matanzas	0,591	Artemisa	0,568	Artemisa	0,477	Pinar del Río	0,594
Pinar del Río	0,585	Ciego de Ávila	0,563	Matanzas	0,423	Camagüey	0,584
Granma	0,575	Villa Clara	0,518	Camagüey	0,400	Villa Clara	0,582
Ciego de Ávila	0,511	Granma	0,502	Ciego de Ávila	0,198	Granma	0,564
Artemisa	0,181	Camagüey	0,480	I. de la Juventud		Matanzas	0,544
		Matanzas	0,470			Ciego de Ávila	0,523

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvieron resultados satisfactorios en el análisis de la evaluación de la calidad del servicio técnico con el método TOPSIS difuso modificado, se estableció el ordenamiento de números difusos y el ranking de calidad.

- A nivel de distribución la provincia que muestra el mejor resultado es Artemisa y la peor es Ciego de Ávila.
- A nivel de subtransmisión la provincia que muestra el mejor resultado es la Habana y la peor es Matanzas.
- A nivel de transmisión las provincias que muestran los mejores resultados son Cienfuegos, Las Tunas y Granma sin ninguna afectación y la de peor resultado es Ciego de Ávila.
- A nivel provincial, la provincia que muestra el mejor resultado es la Habana y la peor es Ciego de Ávila.
- Las provincias de Matanzas y Ciego de Ávila incumplen en todos los niveles de tensión.
- La provincia de Ciego de Ávila es la que muestra la CST más baja en el período analizado.
- Las provincias de Sancti Spiritus, Holguín, Las Tunas, Mayabeque, Isla de la Juventud, Guantánamo y La Habana cumplen en todos los niveles de tensión.
- Todas las provincias que se encuentren con una evaluación de la CST por debajo de 0.6 o el valor mínimo esperado, no brindan una buena CST a sus clientes.
- La Isla de la Juventud no cuenta con líneas de transmisión.

Un inconveniente del método propuesto, es la igualdad de los resultados, se recomienda una adecuación del método TOPSIS difuso modificado, de manera que permita conseguir una mayor exactitud en el ordenamiento de los números difusos y en el ranking de calidad de cualquier proceso de análisis. Se recomienda a la UNE evaluar la CST con el indicador NIU y no con la cantidad de interrupciones ocurridas en el período. Además, que se planifique y se controle con el mismo rigor que el TIU, la planificación no debe estar en función del cumplimiento del TIU, porque en algunos casos puede haber interrupciones de largas y cortas duración, variando y modificando el cumplimiento y análisis del mismo.

## CONCLUSIONES

La aplicación e implementación del método TOPSIS difuso es muy sencilla y de fácil utilización, logrando el objetivo de ordenar números difusos y evaluar la calidad de la energía eléctrica. No requiere de muchas exigencias tecnológicas para su aplicación, los resultados a obtener van a depender de la cantidad de variables y las alternativas que se analicen para su interpretación y aplicación. Se aplica el TOPSIS difuso modificado por García C. (2009) permitiendo que no se varíe el cambio de orden con la introducción de nuevas alternativas e introduce la igualdad de las mismas (problemas que presentan las mayorías de los métodos de ordenación difusa).

Además, este método incluye la posibilidad de ordenar  $n$  números difusos al mismo tiempo, mientras que otros métodos de ordenación no tienen esta capacidad. Se mantiene el inconveniente del TOPSIS (clásico y modificado) de la igualdad de los resultados en el ranking de las alternativas. El método es aplicable a cualquier proceso de evaluación de la calidad mientras se cuenten con las mediciones de variables o parámetros a controlar, las normas estandarizadas de los mismos; y el juicio de expertos para otorgarle pesos a cada indicador.

## REFERENCIAS

- [1] M. Castro Fernández, *et al.* "Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba". Revista Cubana de Ingeniería. Ene. 2011, vol. 1, p. 41-50, DOI 10.1234/rci.v1i3.28. ISSN 2223-1781. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/download/28/29/32&ved=2ahUKEwiYjue6uriIAXVoTTABHRGpCjQQFnoECAoQAQ&usq=AOvVaw05H1oXjHm1wSp2G9qm-BGb>
- [2] S. Vargas, *et al.* "Análisis de Indicadores de Calidad para la Actualización de la Regulación No. CONELEC – 003/08 Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado". *Rev. Téc. Energ.* Ene. 2023, vol. 19, n. 2, DOI 10.37116/revistaenergia.v19.n2.2023.551. ISSN 2602-8492. Disponible en: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/551>
- [3] L. A. Arellán Yanac. "El marco regulatorio de la Calidad del Servicio Público de la Electricidad y la gestión de las empresas estatales de distribución eléctrica". Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Posgrado. Ene. 2022. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/21305>
- [4] C. A. G. Tapias. "Caracterización y evaluación de perturbaciones de calidad de potencia eléctrica usando PYTHON". *Pistas Educativas.* 2024, vol. 45, n. 147. ISSN 2448-847X. Disponible en: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/3393>
- [5] P. Kumar. "A Review of Power Quality Problems, Standards and Solutions". *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).* Dic. 2023, vol. 4, n. 1. ISSN 2395 -0056. Disponible en: [https://www.academia.edu/87180206/A\\_Review\\_of\\_Power\\_Quality\\_Problems\\_Standards\\_and\\_Solutions](https://www.academia.edu/87180206/A_Review_of_Power_Quality_Problems_Standards_and_Solutions)
- [6] C.-L. Hwang y K. Yoon. "Methods for Multiple Attribute Decision Making". *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems Eds.*, Berlin, Heidelberg: Springer, 1981, p. 58-191. DOI 10.1007/978-3-642-48318-9\_3. ISBN 9-7803-8756-0908. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-48318-9\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-48318-9_3)
- [7] G. Díaz-Schery, *et al.* "Empleo de fuzzy TOPSIS en el tratamiento de pseudoartrosis con células madre". *Rev. Inf. Científica.* 2023, vol. 102. ISSN 1028-9933. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1028-99332023000100038&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1028-99332023000100038&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [8] J. C. Fernández, *et al.* "A Fuzzy Logic Proposal for Diagnosis Multiple Incipient Faults in a Power Transformer". en *Progress in Artificial Intelligence and Pattern Recognition: 7th International Workshop on Artificial Intelligence and Pattern Recognition, IWAIPR 2021, Havana, Cuba, October 5–7, 2021, Proceedings*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. Oct. 2021, p. 187-198. DOI 10.1007/978-3-030-89691-1\_19. ISBN 978-3-030-89691-1. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-89691-1\\_19](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-89691-1_19)
- [9] O. Blasco-Blasco y V. Coll-Serrano. "Selección de indicadores basada en métodos de optimización multicriterio. Una aplicación a la estrategia de cultura y desarrollo de España". *Rev. Electrónica Comun. Trab. ASEPUMA.* Jun. 2016, vol. 17, n. 1, DOI 10.24310/recta.17.1.2016.19923. ISSN 1575-605X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6466464>

- [10] M. Luna García. "Aplicaciones de ciencia de datos al proceso de toma de decisiones en la gestión de empresas de acuicultura". Tesis de Doctorado. Data science applications to the decision-making process in Aquaculture Business Management. Jul. 2020. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/19221>
- [11] SIE. "Análisis de la Calidad del servicio técnico en la Red de distribución de la provincia Guantánamo". IV International Scientific Convention UCLV 2023. Disponible en: <https://convencion.uclv.cu/event/xviii-simposio-internacional-de-ingenieria-electrica-sie-2019-transmision-distribucion-y-utilizacion-de-la-energia-electrica-47/track/analisis-de-la-calidad-del-servicio-tecnico-en-la-red-de-distribucion-de-la-provincia-guantanamo-1531>
- [12] A. Hiluf y T. G. Tella. "Reliability Assessment of Electrical Distribution Network using Analytical Method: A Case Study of Maychew City Distribution System". Int. J. Eng. Res. August. 2020, vol. 9, n. 08. ISSN 2278-0181. Disponible en: <https://www.ijert.org/research/reliability-assessment-of-electrical-distribution-network-using-analytical-method-a-case-study-of-maychew-city-distribution-system-IJERTV9IS080075.pdf>
- [13] M. J. C. de Mendonça, *et al.* "Service quality performance indicators for electricity distribution in Brazil". Util. Policy, Feb. 2023, vol. 80, p. 101481, DOI 10.1016/j.jup.2022.101481. ISSN 0957-1787. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095717872200145X>
- [14] M. S. S. Fogliatto, *et al.* "Power distribution system interruption duration model using reliability analysis regression". Electr. Power Syst. Res. Oct. 2022, vol. 211, p. 108193, DOI 10.1016/j.epsr.2022.108193. ISSN 0378-7796. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779622004023>
- [15] T. K. Jain y N. Jain. "Service Quality in the Energy Sector and Its Impact on Sustainability". en Affordable and Clean Energy, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2021, p. 1156-1164. DOI 10.1007/978-3-319-95864-4\_65. ISBN 9-7833-1995-8637. Disponible en: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-95864-4\\_65](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-95864-4_65)
- [16] Elijah Adebayo Olajuyin, *et al.* "An overview on reliability assessment in power systems using CI approaches". Arch. Electr. Eng. Ene. 2024, vol. 71, n. 2, p. 425-443. DOI 10.24425/ae.2022.140720. ISSN 2300-2506. Disponible en: [https://journals.pan.pl/Content/123214/PDF-MASTER/art10\\_internet.pdf](https://journals.pan.pl/Content/123214/PDF-MASTER/art10_internet.pdf)
- [17] G. A. Schweickardt. "Percepción de la Calidad del Servicio Técnico en usuarios Residenciales de Sistemas de Distribución Eléctrica: Perception of the Quality of the Technical Service in Residential Customers of Electrical Distribution Systems". Latam Rev. Latinoam. Cienc. Soc. Humanidades. 2023, vol. 4, n. 2. ISSN 2789-3855. Disponible en: <https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/877>
- [18] G. L. Aschidamini, *et al.* "A Framework for Reliability Assessment in Expansion Planning of Power Distribution Systems". Energies, Jan. 2022, vol. 15, n. 14, DOI 10.3390/en15145073. ISSN 1996-1073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/14/5073>
- [19] D. Anteneh, *et al.* "Distribution network reliability enhancement and power loss reduction by optimal network reconfiguration". Comput. Electr. Eng, Dec. 2021, vol. 96, DOI 10.1016/j.compeleceng.2021.107518. ISSN 0045-7906. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1016/j.compeleceng.2021.107518>
- [20] M. Enjavimadar and M. Rastegar. "Optimal reliability-centered maintenance strategy based on the failure modes and effect analysis in power distribution system". Electr. Power Syst. Res., Feb. 2022, vol. 203, DOI 10.1016/j.epsr.2021.107647. ISSN 1873-2046. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779621006283>
- [21] P. S. e Abreu and A. G. Martins, "Evaluation of service quality of distribution systems with critically located generators", *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, 2021, vol. 31, n. 4, DOI 10.1002/2050-7038.12852. ISSN 2050-7038. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2050-7038.12852>
- [22] F. Ahmad, *et al.* "A novel AI approach for optimal deployment of EV fast charging station and reliability analysis with solar based DGs in distribution network". Energy Rep., Nov. 2022, vol. 8, p. 11646–11660, DOI 10.1016/j.egy.2022.09.058. ISSN 2352-4847. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722017814>
- [23] T. E. de O. Gomes, *et al.* "Clustering Electrical Customers with Source Power and Aggregation Constraints: A Reliability-Based Approach in Power Distribution Systems". Energies, Jan. 2023, vol. 16, n. 5, DOI 10.3390/en16052485. ISSN 1996-1073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2485>
- [24] S. M. Hakimi, *et al.* "Optimal sizing of renewable energy systems in a Microgrid considering electricity market interaction and reliability analysis". Electr. Power Syst. Res., Feb. 2022, vol. 203, DOI 10.1016/j.epsr.2021.107678. ISSN 1873-2046. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779621006593>

- [25] M.-A. Hamidan y F. Borousan. "Optimal planning of distributed generation and battery energy storage systems simultaneously in distribution networks for loss reduction and reliability improvement". *J. Energy Storage*. Feb. 2022, vol. 46, e103844, DOI 10.1016/j.est.2021.103844. ISSN 2352-1538. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X21015139>
- [26] K. Idowu, et al. "Reliability Improvement Study of a Distribution Network with Distributed Generation". *Appl. Model. Simul. Ene.* 2021, vol. 5, n.º 0. ISSN 2600-8084. Disponible en: [http://arqiiupubl.com/ojs/index.php/AMS\\_Journal/article/view/200](http://arqiiupubl.com/ojs/index.php/AMS_Journal/article/view/200)
- [27] J. Li, et al. "A Dynamic Heat/Power Decoupling Strategy for the Fuel Cell CHP in the Community Energy System: A Real Case Study in South of China". *IEEE Trans. Smart Grid. Ene.* 2023, vol. 14, n. 1, DOI 10.1109/tsg.2022.3189973. ISSN 1949-3061. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9826833>
- [28] P. S. Meera y S. Hemamalini. "Reliability assessment and enhancement of distribution networks integrated with renewable distributed generators: A review". *Sustain. Energy Technol. Assess. Dic.* 2022, vol. 54, e102812, DOI 10.1016/j.seta.2022.102812. ISSN 2213-1396. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/364223341\\_Reliability\\_assessment\\_and\\_enhancement\\_of\\_distribution\\_networks\\_integrated\\_with\\_renewable\\_distributed\\_generators\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/364223341_Reliability_assessment_and_enhancement_of_distribution_networks_integrated_with_renewable_distributed_generators_A_review)
- [29] M. Parol, et al. "Reliability Analysis of MV Electric Distribution Networks Including Distributed Generation and ICT Infrastructure". *Energies. Ene.* 2022, vol. 15, n. 14, DOI 10.3390/en15145311. ISSN 1996-1073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/14/5311>
- [30] J. Wu, et al. "Reliability evaluation method of distribution network considering the integration impact of distributed integrated energy system". *Energy Rep. Nov.* 2022, vol. 8, p. 422-432, DOI 10.1016/j.egy.2022.08.124. ISSN 2352-4847. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722015694>
- [31] H. Yin, *et al.* "Operational Reliability Assessment of Distribution Network With Energy Storage Systems". *IEEE Syst. J. Mar.* 2023, vol. 17, n. 1, DOI 10.1109/JSYST.2021.3137979. ISSN 1937-9234. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9718194>
- [32] G. Zeng, "Analytical reliability assessment of cyber-physical distribution system with distributed feeder automation". *Electr. Power Syst. Res. Jul.* 2022, vol. 208, e107864, DOI 10.1016/j.epsr.2022.107864. ISSN 1873-2046. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779622000943>
- [33] G. R. Jahanshahloo, *et al.* "An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data". *Appl. Math. Comput. Abr.* 2006, vol. 175, n. 2, p. 1375-1384, DOI 10.1016/j.amc.2005.08.048. ISSN 1873-5649. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0096300305006843>
- [34] B. Ceballos, *et al.* "El método TOPSIS relativo vs. absoluto". *Rev. Electrónica Comun. Trab. ASEPUMA. Dic.* 2013, vol. 14, n. 2. ISSN 1575-605X. Disponible en: <http://www.revistarecta.com/articulos/Recta.Vol14.N2.05.pdf>
- [35] M. del S. García Cascales. "Métodos para la comparación de alternativas mediante un sistema de ayuda a la decisión: S.A.D. y "Soft computing"". Tesis Doctoral. Universidad de Cartagena, Colombia, 2009. Escuela de Posgrado. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=22138>
- [36] M. Socorro García-Cascales, *et al.* "Evaluation of photovoltaic cells in a multi-criteria decision making process". *Ann. Oper. Res. Oct.* 2012, vol. 199, n. 1, p. 373-391, DOI 10.1007/s10479-011-1009-x. ISSN 1572-9338. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-011-1009-x>
- [37] J. M. Sánchez-Lozano, *et al.* "A Comparative Analysis Based on GIS and Fuzzy MCDM Approaches". presentado en 19th World Congress of the International Fuzzy Systems Association (IFSA), 12th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT), and 11th International Summer School on Aggregation Operators (AGOP), Atlantis Press, ago. 2021, p. 211-218. DOI 10.2991/asum.k.210827.029. ISBN 978-94-6239-423-0. Disponible en: <https://www.atlantispress.com/proceedings/ifsa-eusflat-agop-21/125960426>
- [38] M. H. A. Behzadian Majid. "A Hybrid Fuzzy MCDM Approach to Thesis Subject Selection". *Journal of Mathematics and Computer Science.* 2010, vol. 1, n. 4, p. 355-365. Disponible en: <https://www.isr-publications.com/jmcs/70/download-a-hybrid-fuzzy-mcdm-approach-to-thesis-subject-selection>

## **CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

## **CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES**

**Nelson Alexey Castro Torres:** <https://orcid.org/0000-0001-8515-8998>

Participó en el diseño de la investigación, diseño del modelo, la simulación, recolección de datos, análisis de resultados y la redacción del manuscrito.

**Eduardo Sierra Gil:** <https://orcid.org/0000-0001-5216-2771>

Participó en el diseño de la investigación, recolección de datos, análisis de resultados y la redacción del manuscrito.

**Eduardo López Pérez:** <https://orcid.org/0009-0008-2179-6809>

Participó en el diseño del modelo, recolección de datos y análisis de resultados.