

## Estudio comparativo de la aplicación de 5 métodos multicriterio de decisión al caso de selección de personal docente

*Comparative study of the application of 5 multicriteria decision methods in the case of selection of teaching staff*

Juan Manuel Izar Landeta<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-3187-6481>

José Adrián Nájera Saldaña<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-1795-4471>

Lizbeth Angélica Zárate Camacho<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-6834-1667>

Recibido 10 de abril de 2023, aceptado 24 de julio de 2023

*Received: April 10, 2023 Accepted: July 24, 2023*

### RESUMEN

Los métodos cuantitativos están presentes en la toma de decisiones de los responsables de las organizaciones, con el fin de que sea mitigada en lo posible, la subjetividad y posibles sesgos. En el presente documento, se aborda la aplicación de 5 modelos multicriterio de decisión, como son: SAW, Moora, ANP, Promethee y Topsis, para el proceso de decisión al momento de realizar la selección de personal docente.

En la metodología se seleccionan los criterios bajo los cuales se va a evaluar a los candidatos a ocupar una plaza vacante, luego éstos se priorizan con el proceso AHP de Saaty y en una última etapa, los aspirantes son evaluados con cada uno de los modelos multicriterio comentados.

Los principales resultados muestran que todos los métodos coinciden en el mejor candidato, es decir, que cualquier método lleva al mismo resultado. Si fuese el caso que hubiese dos vacantes, o sea elegir a los 2 mejores candidatos, cuatro de los cinco modelos eligen al mismo aspirante.

Al realizar un análisis de sensibilidad de los modelos, mediante la modificación de los pesos de los criterios, el método más sensible resulta el ANP, ya que es el que con menores cambios en las evaluaciones de los aspirantes produce diferentes resultados, mientras que el método que ha mostrado la sensibilidad mínima ha sido Promethee.

Palabras clave: Selección de personal, análisis de sensibilidad, métodos multicriterio.

### ABSTRACT

*Quantitative methods are present in the decision-making of those responsible for organizations to mitigate subjectivity and possible biases as much as possible. This document addresses the application of 5 multi-criteria decision models: SAW, Moora, ANP, Promethee, and Topsis, for the decision process when selecting teachers.*

*The methodology selects the criteria under which the candidates to fill a vacant position will be evaluated. These are prioritized with the Saaty AHP process, and in the last stage, the applicants are evaluated with each multicriteria model commented.*

*The main results show that all the methods agree on the best candidate; that is, any method leads to the same result. If it were the case that there were two vacancies, that is, choose the 2 best candidates, four of the five models choose the same applicant.*

---

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/ITS Rioverde. Rioverde, San Luis Potosí, México.

E-mail: [juan.il@rioverde.tecnm.mx](mailto:juan.il@rioverde.tecnm.mx); [jose.ns@rioverde.tecnm.mx](mailto:jose.ns@rioverde.tecnm.mx); [lizabeth.zc@rioverde.tecnm.mx](mailto:lizabeth.zc@rioverde.tecnm.mx)

\* Autor de correspondencia: [juan.il@rioverde.tecnm.mx](mailto:juan.il@rioverde.tecnm.mx)

*When carrying out a sensitivity analysis of the models by modifying the weights of the criteria, the ANP method is the most sensitive since it is the one that produces different results with the slightest changes in the evaluations of the applicants. In contrast, the method that has shown the least sensitivity has been Promethee.*

*Keywords: Personnel selection, sensitivity analysis, multicriteria methods.*

## INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones es inherente en las actividades diarias que lleva a cabo el ser humano. Hay decisiones intrascendentes como decidir la ruta para ir de casa al trabajo en la mañana, del mismo modo que hay otras que son de gran relevancia, como sería la elección de una nueva oportunidad laboral, o decidir la carrera profesional que se va a estudiar.

En todos los casos, el decisor cuenta con información para elegir la decisión que va a tomar, esta información hoy día, suele ser abundante dados los medios tecnológicos con que se cuenta, pero algunas veces no es suficiente, ya que mucha información a la que una persona tiene acceso puede no ser veraz, o bien simplemente representar una opinión de quien la ha dado, por lo cual es importante que quien tome la decisión sepa en qué información basarse [1].

Además, la información puede contener elementos objetivos, como el caso del costo de un producto, o bien subjetivos, cuando se hace con alguna escala relativa o basado en la opinión de alguien.

A nivel de las organizaciones, la toma de decisiones es una herramienta estratégica de gran importancia, que puede coadyuvar para un buen desempeño, que normalmente implica aspectos económicos, técnicos, sociales y humanos, lo que redundará en lograr los objetivos que se han planteado de antemano [2].

Es usual que las decisiones se tomen sin contar con toda la información requerida para el caso, lo que trae consigo hacer supuestos, lo que implica riesgo e incertidumbre, debiendo el decisor estar consciente que el resultado de la decisión puede diferir del proceso o metodología que se haya seguido para llegar a ella.

Se recomienda que en las organizaciones las decisiones se tomen de manera racional y con un proceso lógico, que incluya los elementos de

información disponible, tangible e intangible, haciendo a un lado las preferencias personales del decisor.

Ante esto, han surgido los métodos multicriterio de decisión, los cuales ya no buscan la solución óptima, sino una que se aproxime el máximo posible al cumplimiento de los objetivos que se pretenden lograr con la decisión.

Suele suceder que una alternativa de decisión sea mejor que otra en uno de los criterios, pero no en todos y esto complica la decisión, puesto que muchas veces la mejora en uno de ellos, va en detrimento de otro, conforme a lo que señala el principio de Pareto.

Los modelos multicriterio dan la oportunidad de elegir la mejor opción de decisión en función de las condiciones establecidas en cada caso [3].

Estos modelos han sido ampliamente usados en casi todas las naciones del mundo en numerosos sectores como el de energía, medio ambiente, cadenas de suministro, materiales, selección de proveedores, manejo de proyectos, sistemas de manufactura, tecnología, investigación de operaciones, sistemas de calidad, administración de la seguridad, manejo de riesgos, informática y otros, lo que da una clara idea que su aplicación es muy amplia y difundida.

Este trabajo aborda el caso de elegir entre varios candidatos al mejor de ellos para ocupar una plaza de profesor en una institución de educación superior, para lo cual se aplican 5 métodos multicriterio, para ver las coincidencias entre ellos en la elección del mejor candidato y mediante análisis de sensibilidad ver hasta qué rango de valores del candidato en los diferentes criterios la solución inicial se mantiene.

Los modelos utilizados son SAW (Simple Additive Weighting), Moora (Multi Objective Optimization on basis of Ratio Analysis), ANP (Analytic Network Process), Topsis (Technique for Ordering Preference

by Similarity to an Ideal Solution) y Promethee (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations), los cuales se describen brevemente para luego aplicarlos al caso de estudio y analizar los resultados alcanzados.

## DESARROLLO

### Método SAW

El método SAW es uno de los primeros modelos de puntuación directa [4], el cual se ha aplicado en varias disciplinas conjuntamente con otros modelos para el análisis de decisiones en diversas situaciones, de las cuales se comentan algunas para dar al lector una idea de la amplitud de aplicaciones de esta metodología.

Podvezko *et al.* [5] lo usaron para evaluar contratos de construcción, usando AHP para definir los pesos de los criterios de decisión y evaluando las opciones con suma de rangos, SAW y Topsis.

Podvezko[6] lo ha aplicado junto con Topsis y Vikor para evaluar cantidades complejas y en otro estudio ha efectuado una comparación de SAW y Copras, concluyendo que el primero es más sencillo, pero el segundo permite una evaluación más precisa [7].

Moreno Calderón [8] lo usó junto con otros 3 métodos para elegir la mejor tecnología en salud en Colombia. Lamelas Gracia lo aplicó junto con Promethee en 2 casos: seleccionar el mejor sitio para extracción de arena y grava en la ciudad de Zaragoza, España [9] y en la localización óptima de un sitio para uso residencial [10]. Por su parte, León Santiesteban y Larrañaga Núñez [11] aplicaron SAW para identificar la mejor alternativa de integración de conocimiento y tecnología para el caso de empresas restauranteras de Mazatlán, Sinaloa, México.

La metodología consiste en los pasos siguientes [7]:

Se forma la matriz de decisión, que contiene las m alternativas de decisión, una en cada fila y los n criterios, ubicados por columna, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Se obtiene el peso de los criterios  $W_j$ , con alguna metodología de priorización, cuya suma debe ser la unidad, conforme a la ecuación (1):

Tabla 1. Matriz de decisión.

Criterio Alternativa	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	.....	C <sub>n</sub>
A <sub>1</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	.....	X <sub>1n</sub>
A <sub>2</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	.....	X <sub>2n</sub>
.....	.....	.....	.....	.....	.....
A <sub>m</sub>	X <sub>m1</sub>	X <sub>m2</sub>	X <sub>m3</sub>	.....	X <sub>mn</sub>

Fuente: Elaboración propia.

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1 \tag{1}$$

Se obtiene la matriz normalizada, en la cual cada elemento  $r_{ij}$  se calcula con las ecuación (2) para criterios a maximizar y la ecuación (3) para los de minimización:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\text{Max}_j X_{ij}} \tag{2}$$

$$r_{ij} = \frac{\text{Min}_j X_{ij}}{X_{ij}} \tag{3}$$

En caso que hubiese elementos con valores negativos en la matriz de decisión, éstos se transforman mediante la siguiente ecuación (4):

$$r_{ij} = X_{ij} + |\text{Min}_j X_{ij}| + 1 \tag{4}$$

Con esto, el valor negativo mínimo se convierte en uno.

Se calcula entonces la puntuación de cada opción con la siguiente ecuación (5):

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j r_{ij} \tag{5}$$

Se ordenan las alternativas conforme a su valor de  $S_i$ , siendo la mejor de ellas, la que haya logrado el valor máximo de  $S_i$ .

### Método Moora

El método MOORA nació a mediados de la primera década del tercer milenio, siendo sus autores Brauers y Zavadskas, quienes lo usaron en la privatización

de algunos servicios de gobierno en economías de transición en Europa del Este [12].

Es un método basado en definir una función de utilidad, el cual se recomienda usar cuando los criterios de decisión tienen muy diversas unidades de medida, valores que se homologan con el proceso de normalización, para sentar una base para evaluar las diferentes opciones de decisión.

Entre sus aplicaciones, que son muy numerosas, están la de Chérrez Troya *et al.* [13], quienes lo aplicaron para seleccionar un material para discos de frenado, mientras que Mallick *et al.* [14] lo usaron para clasificar inventarios.

Curchod *et al.* [15] lo utilizaron en la evaluación de postulantes para ingreso en la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Por su parte, Salazar Martínez [16] aplicó Moora junto con otros métodos en la selección de materiales para un guardafango de vehículos. En otras aplicaciones, Granada Molina [17] aplicó Topsis y Moora junto con simulación en el caso de la selección de materiales para el aislamiento de cajuelas de vehículos.

La metodología consta de los siguientes pasos:

1. Determinar la matriz inicial de decisión, en la cual las opciones de decisión se ubican como filas y los criterios como columnas.
2. Definir los pesos de los criterios,  $W_j$  conforme a su importancia.
3. Obtener la matriz de radios normalizada y ponderada por los pesos de los criterios, donde cada elemento se obtiene con la siguiente ecuación (6):

$$x_{ij}^* = \frac{W_j X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (6)$$

$x_{ij}^*$  = Elemento normalizado ponderado de la fila  $i$  y columna  $j$ .

$X_{ij}$  = Elemento de la matriz de decisión de la fila  $i$  y columna  $j$ .

$W_j$  = Peso del criterio de la columna  $j$ .

$m$  = Número de alternativas de decisión.

4. Se obtiene la función de agregación para cada alternativa  $Y_i$ , mediante la ecuación (7):

$$Y_i = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \quad (7)$$

En esta ecuación suman los  $g$  criterios de maximización y restan los  $n-g$  criterios de minimización.

5. Se ordenan las alternativas de decisión conforme a su valor de la función de agregación, en orden descendente, siendo la mejor opción aquella con el valor máximo de  $Y_i$ .

### Método ANP

La metodología del ANP es una extensión del AHP de Saaty, la cual permite interacciones entre las opciones y los criterios de decisión, como pueden ser relaciones de interdependencia y/o retroalimentación, lo que da más solidez a la decisión que se elija.

Con el AHP se obtiene solo una relación jerárquica sin interdependencia o realimentación entre los elementos del sistema, mientras que en el ANP cada grupo de criterios, subcriterios y alternativas forman un clúster, pudiendo haber relaciones de interdependencia, así como retroalimentación entre clústers.

Al haber tales relaciones, la alternativa seleccionada resulta con una mejor evaluación, lo cual puede ser diferente a la que se daría si la relación solo es jerárquica.

Esta metodología también se ha utilizado ampliamente en numerosos casos, de los cuales se mencionan solamente algunos y también es, al igual que Moora, un modelo que se clasifica dentro de aquellos basados en una función de utilidad.

Aznar Bellver [18] ha aplicado ANP junto con AHP y Critic para valoración de activos en España. Farfán Tiscar [19] ha efectuado un estudio llevando a la práctica cuatro casos con los que se estudiará el funcionamiento del AHP y ANP, dos de ellos de forma simple, y otros dos de manera más compleja, con lo cual se busca comprender el funcionamiento de estos modelos de manera aplicada.

Fernández Ferreras [20] ha usado ANP en el desarrollo de una metodología de evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica

en España, que incluye aspectos ambientales, económicos, sociales y tecnológicos, integrándolos en una herramienta, de forma que se consideren las interrelaciones existentes entre los diferentes indicadores.

Rodríguez Carrillo *et al.* [21], Alcalá Casanova *et al.* [22] y Fernández Sánchez [23] lo han aplicado al desarrollo y selección de proveedores, mientras que García Lozano [24] lo utilizó en la valoración económica y evaluación del rendimiento de deportistas en España.

La metodología del ANP consta de los pasos siguientes [25]:

1. En el problema de decisión, identificar los elementos de la red, que debe incluir los criterios y las alternativas de decisión.
2. Agrupar los elementos de la red en componentes o clústers.
3. Hacer el análisis de la red de influencias, lo que lleva a la matriz de dominación interfactorial, la cual es una matriz cuadrada con un número de filas igual al de la suma de los criterios más las alternativas.
4. Calcular las prioridades entre los elementos de la red, lo que lleva a obtener la supermatriz original.
5. Efectuar los cálculos de prioridades entre clústers, lo que lleva a la supermatriz ponderada, en la cual su suma de elementos de cada columna debe ser la unidad. En caso necesario, deben normalizarse por la suma aquellas columnas cuya suma sea diferente de uno.
6. Se multiplica la supermatriz ponderada por ella misma las veces que sea necesario hasta lograr la supermatriz límite, que es cuando entre una multiplicación y la siguiente ya no hay cambios y con el valor de sus elementos, se selecciona aquella opción de decisión mejor evaluada. La multiplicación no es por la supermatriz ponderada inicial, sino por la nueva matriz producto que se va obteniendo tras cada multiplicación matricial.

### **Método Promethee**

Este es un método de los más aplicados a nivel mundial y que pertenece a los modelos de superación o sobreclasificación, los cuales establecen relaciones

de preferencia entre las alternativas de decisión, donde cada una presenta un grado de dominación sobre las otras respecto a un criterio dado.

Esta metodología se debe a Jean-Pierre Brans, quien desde la década de los 80 presentó su primera versión (Promethee I), que al igual que Electre tiene varias versiones, siendo la primera Promethee I, que es la más simple y genera una ordenación parcial de las opciones de decisión, mientras que Promethee II genera la ordenación completa y es la que se aborda en este estudio.

Hay versiones posteriores como la III, IV y V, así como el módulo visual interactivo GAIA (Geometrial Analysis for Interactive Aid) y la versión VI, que es una extensión de la metodología Promethee-GAIA.

Dentro de las múltiples aplicaciones de esta metodología, está la de Behzadian, *et al.* [26], quienes señalan que Promethee es de los métodos más utilizados en ámbitos muy diversos, tales como la gestión empresarial, la gestión ambiental, gestión del agua, finanzas, química, logística, transporte, fabricación y montaje, energía, agricultura, educación, medicina, diseño, gobierno y deportes.

Una de las aplicaciones más usuales es en el caso de la selección de proveedores [27], [28], [29]. Asimismo, otro uso frecuente es en la localización de sitios de manufactura [30], [31], [32].

También hay un numeroso grupo de académicos que la han aplicado en su versión Promethee-GAIA [33], [34], [35].

Otro uso común ha sido la de aplicar este método con AHP para la toma de decisiones en diversos problemas [36], [37], [38], [39].

Esto da una clara idea del uso tan extendido de este método en todo el mundo, desde que apareció hace ya 4 décadas.

Promethee es una metodología que compara las diferentes opciones de decisión entre sí bajo varios criterios, buscando llegar a la mejor de ellas, lo que logra iniciando con la matriz de decisión, generando matrices de diferencias para cada uno de los criterios considerados, por lo cual no se requiere su normalización. A partir de esto, se llega

a la matriz de índices de preferencia agregada, de la que se obtiene la jerarquización de las opciones.

Una opción  $A_h$  será mejor que otra  $A_k$ , si tiene un valor superior en su flujo neto, que corresponde a la versión Promethee II.

La metodología inicia por tener la matriz de decisión, que es la mostrada en la Tabla 1, con  $m$  opciones y  $n$  criterios de decisión. Luego, mediante alguna técnica de ponderación, deben obtenerse los pesos de los criterios, los que deben normalizarse por la suma para que sea la unidad, conforme a la ecuación (1).

Enseguida se obtiene para cada criterio la matriz de desvíos, que contendrá en cada celda la diferencia en la evaluación que hay entre las alternativas correspondientes. Así para el caso del criterio  $j$ , en la celda de la fila  $h$  y columna  $k$ , el desvío  $d_j(A_h, A_k)$  es:

$$d_j(A_h - A_k) = A_{hj} - A_{kj} \quad (8)$$

Siendo  $d_j(A_h - A_k)$  la diferencia de valor de los elementos de la matriz de decisión de las opciones  $h$  y  $k$  en el criterio  $j$ , ecuación (8).

La matriz de desvíos para el criterio  $j$  se llena evaluando todas las diferencias entre los pares de opciones de decisión, con lo cual es una matriz cuadrada con un número de filas y columnas igual al del número de alternativas, siendo cero los elementos de la diagonal principal.

Luego se define para cada criterio, la función de preferencia  $P_j(A_h, A_k)$ , según sean los desvíos antes obtenidos, habiendo 6 diferentes tipos de funciones, los cuales son:

1. Tipo Usual. Es el más simple y para el cual el elemento de la función de preferencia  $P(d)$  será cero, si el desvío  $d_j(A_h, A_k)$  es menor o igual a cero y  $P(d)$  será uno, en caso que el desvío sea mayor que cero. En este caso no se requiere ningún parámetro.
2. Tipo Forma U. en este se define el parámetro  $q$ , que es el *umbral de indiferencia* y el elemento de la función de preferencia  $P(d)$  será cero si el desvío  $d_j(A_h, A_k)$  es menor o igual a  $q$ , o uno en caso que el desvío sea mayor a  $q$ .

3. Tipo Forma V. Ahora se define el parámetro  $p$ , que es el *umbral de preferencia estricta* y el elemento de la función de preferencia  $P(d)$  será cero, en caso que el desvío  $d_j(A_h, A_k)$  sea menor o igual a cero; si el desvío se ubica entre cero y  $p$ ,  $P(d)$  será el cociente  $d_j(A_h, A_k)/p$ ; y si el desvío es mayor que  $p$ , entonces  $P(d)$  es la unidad.
4. Tipo Escalonado. En este tipo se definen los dos parámetros,  $p$  y  $q$ , mencionados antes. El elemento de la matriz de preferencia  $P(d)$  será cero si el desvío es menor o igual a  $q$ ; será 0,5, si el desvío se ubica entre  $q$  y  $p$ ; y la unidad en caso que el desvío sea mayor a  $p$ .
5. Tipo Forma de V con indiferencia. Para esta función, se definen  $q$  y  $p$  y el elemento de la matriz de preferencia será cero si el desvío es menor o igual a  $q$ ; será la unidad en caso que el desvío sea mayor a  $p$ ; y en caso que el desvío esté entre  $q$  y  $p$ ,  $P(d)$  se calcula con la ecuación (9):

$$P(d) = \frac{d_j(A_h, A_k) - q}{p - q} \quad (9)$$

6. Tipo Gaussiano. Para esta función se define el parámetro  $s$ , cuyo valor se ubica entre  $q$  y  $p$  y si el desvío es menor o igual a cero, el elemento de la matriz de preferencia  $P(d)$  será cero; y en caso que el desvío sea mayor a cero,  $P(d)$  debe calcularse con la siguiente ecuación(10):

$$P(d) = 1 - \text{Exp} \left[ \frac{-d_j(A_h - A_k)^2}{s^2} \right] \quad (10)$$

Finalmente, si un elemento de la función de preferencia entre alternativas  $P_j(A_h, A_k)$  es mayor que cero, el elemento de la celda transpuesta,  $P_j(A_k, A_h)$  será igual a cero.

Esto se da tal y como se ha descrito cuando el criterio de decisión se desea maximizar; en cambio, para aquellos criterios a minimizar, los desvíos deben multiplicarse por  $-1$  antes de aplicar estas propiedades para definir las funciones de preferencia.

En cuanto a la definición de los umbrales de indiferencia,  $q$  y de preferencia estricta  $p$ ,  $q$  es el valor máximo para el cual dos alternativas se consideran indiferentes, mientras que  $p$  es el valor

mínimo para que una opción de decisión sea mejor que otra.

$$\phi(A_h) = \phi^+(A_h) - \phi^-(A_h) \quad (14)$$

Para definir el tipo de función de preferencia, la Tabla 2 proporciona algunas sugerencias.

Los flujos netos tendrán valores entre  $-1$  y  $+1$ , siendo su sumatoria para todas las opciones igual a cero.

Una vez definidas las funciones de preferencia, se procede a obtener los índices de preferencia agregada de una alternativa  $h$  sobre otra  $k$ , denotado por  $\pi(A_h, A_k)$ , conforme a la ecuación (11) siguiente:

La mejor opción será aquella con el valor máximo de su flujo neto.

$$\pi(A_h, A_k) = \sum_{j=1}^n P_j(A_h, A_k) W_j \quad (11)$$

### Método Topsis

Siendo  $W_j$  el peso del criterio  $j$ .

Esta metodología se debe a C.L. Hwang y K. Yoon desde hace 4 décadas y su nombre es una abreviación de Technique for Ordering Preference by Similarity to an Ideal Solution (Técnica de ordenación de preferencias por su similaridad a una solución ideal) [1], basado en el axioma de Zeleny [40]: Es racional seleccionar la opción de decisión que quede más próxima a la solución ideal, o más alejada de la solución antiideal.

Estos índices son los elementos de la *matriz de dominancia agregada*, siendo  $\pi(A_h, A_k)$  el elemento de la fila  $h$  y columna  $k$ . Los elementos de la diagonal principal serán ceros, ya que una opción no es preferible sobre sí misma.

El método pertenece a la categoría de modelos basados en la distancia a soluciones ideales junto con Vikor y es muy popular, pues se ha aplicado extensamente en diferentes ámbitos, como el caso de elegir opciones de inversión para sistemas de manufactura avanzada [41].

Una vez definida la matriz de dominancia agregada, se calculan los flujos positivos y negativos de cada alternativa de decisión mediante la ecuación (12) y ecuación (13):

$$\phi^+(A_h) = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m \pi(A_h, A_k) \quad (12)$$

$$\phi^-(A_h) = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m \pi(A_k, A_h) \quad (13)$$

Por su parte, Mayor *et al.* [42] lo han aplicado en la selección de contratistas para proyectos de infraestructura en Colombia y Osorio Gómez *et al.* [43] lo han aplicado al caso de selección de proveedores.

Luego se estima el flujo neto de cada alternativa,  $f(A_h)$ , el cual viene dado por la ecuación (14):

Otros autores lo han empleado en la selección de sitios para locales comerciales [44].

Tabla 2. Sugerencias para elegir el tipo de función de preferencia.

Tipo	Cuando elegirlo
1. Usual	Los desvíos no son grandes y se concentran alrededor de su media.
2. Forma U	Hay pocos desvíos pequeños y la mayoría son notoriamente mayores.
3. Forma V	Si el grado de preferencia es cero para desvíos menores a $q$ , uno para valores mayores a $p$ y un valor intermedio proporcional para desvíos entre $q$ y $p$ .
4. Escalonado	Si el grado de preferencia es cero para desvíos menores a $q$ , uno para valores mayores a $p$ y 0,5 para desvíos entre $q$ y $p$ .
5. V con indiferencia	Si se desea un grado de preferencia proporcional.
6. Gaussiano	Si el grado de preferencia se incrementa suavemente en función del tamaño del desvío.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte [45] ha aplicado Topsis y Promethee para la selección de vehículos, mientras que Hernández Vázquez [46] *et al.* usaron Topsis y AHP para la evaluación de opciones de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Carignano *et al.* [47] aplicaron Topsis y variables lingüísticas en la localización de un sitio inmobiliario en Córdoba, Argentina. Valarezo Orejuela [48] aplicó Topsis y AHP al caso de la evaluación de proyectos de alumbrado público en el sur de Ecuador y Pérez Ramírez y Martínez Damián [49] utilizaron estos mismos métodos en el caso de la selección de proyectos productivos en el medio rural mexicano.

Sin embargo, hay investigadores como Wang y Luo [50], que afirman que una desventaja del método es que en caso de eliminarse una de las opciones de decisión iniciales, el orden de clasificación puede cambiar, lo que es inconveniente, ya que no habría confiabilidad al estar aplicando la metodología. No obstante, estos autores no aportan ninguna solución para este problema mientras que, a este respecto, García Cascales *et al.* [51], proponen evitar el orden inverso mediante el uso de nuevas fórmulas para la norma y el cálculo de las soluciones ideales positiva y negativa.

En Topsis si una alternativa cumple con ser la más próxima a la ideal y la más lejana a la antiideal, es la que debe elegirse. Sin embargo, puede darse el caso que no haya una opción que cumpla con esta condición, por lo cual se introduce el concepto de similaridad, que permite obtener una puntuación para cada opción de decisión, de modo que se elija la de máximo puntaje.

La metodología consta de los pasos siguientes [52]:

Se obtiene la matriz de decisión, tal y como se mostró en la Tabla 1.

Se obtienen los pesos de los criterios,  $W_j$ , mediante alguna metodología de ponderación, debiendo su suma ser la unidad, conforme a la ecuación (1).

Se estima la matriz normalizada, obteniendo cada uno de sus elementos con la ecuación (15) siguiente:

$$v_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Siendo  $v_{ij}$  el elemento normalizado de la fila  $i$ , columna  $j$ .

Se obtiene la matriz normalizada ponderada, en la que cada elemento,  $p_{ij}$ , se calcula con la siguiente ecuación (16):

$$p_{ij} = v_{ij}W_j \quad (16)$$

Para cada criterio, encontrar su alternativa ideal,  $I_j^+$ , y su alternativa antiideal,  $I_j^-$ , que se obtienen para cada columna de la matriz normalizada ponderada: para aquellos criterios a maximizar, el valor máximo de la columna, será ( $I^+$ ) y el valor mínimo será ( $I^-$ ); mientras que, para los criterios a minimizar, será lo opuesto.

Se obtiene para cada opción de decisión  $i$ , la distancia ideal positiva,  $d_i^+$ , con la ecuación (17):

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - I_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

Y la distancia antiideal,  $d_i^-$ , mediante la ecuación (18):

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - I_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

Se calcula para cada opción de decisión, su índice de similaridad,  $D_i^+$ , mediante la ecuación (19):

$$D_i^+ = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (19)$$

Se clasifican las alternativas conforme al orden decreciente de su índice de similaridad, de modo que la mejor opción será la que tenga el valor máximo.

### Aplicación al caso de Selección Docente

Para el caso motivo de este estudio, de elegir al mejor candidato a ocupar un puesto vacante de docencia en una institución de educación superior, las alternativas de decisión son cada uno de los candidatos al puesto, mientras que los criterios bajo los cuales deben evaluarse estas opciones deben definirse conforme a los aspectos deseables de un buen profesor. Para esto, tras una reunión

consensuada del cuerpo académico de la institución de educación superior, que nos ocupa, se listaron los siguientes 11 criterios [53]:

La experiencia docente del candidato, pues se considera que tener experiencia previa en la labor docente es un atributo deseable.

Su experiencia profesional, ésta relacionada al quehacer docente, esto es, que es bueno para el aspirante que cuente con experiencia profesional en el ámbito de lo que será su labor docente.

Su formación académica, pues en esta época se pide a los aspirantes, que cuenten con posgrado, mínimo con estudios de maestría y preferentemente de doctorado.

Formación docente, será deseable que los candidatos cuenten con cursos de formación docente, que pueden ser de pedagogía y didáctica, así como aquellos relacionados con educación a distancia.

Su producción académica, la que puede incluir autoría de libros, artículos de investigación y divulgación, ponencias en congresos y otras.

Impartición de una clase muestra, acerca de un tema previamente seleccionado y afín a lo que vaya a impartir el candidato en su futura labor docente.

Entrevista con un comité ad hoc, en la cual se evaluará al candidato buscando definir su actitud, buen ánimo y disposición para ingresar a la institución, así como cuestiones relacionadas con su perfil académico y profesional.

Examen psicométrico, en el cual se evaluará su capacidad de aprendizaje y aplicación de nuevos conocimientos, así como su coeficiente intelectual y sus habilidades de análisis y síntesis.

Conocimiento de un idioma, preferentemente Inglés, ya que es el idioma universal en que avanza la ciencia.

Exámenes médicos, que muestren que el aspirante cuenta con buen estado de salud y no consume drogas o alcohol en exceso.

Conocimientos de las tecnologías de información y comunicaciones (TIC), ya que en estos tiempos su manejo es imprescindible.

Estos 11 criterios se evalúan en una escala de cero a diez puntos, por parte del comité de selección de los candidatos a ocupar una plaza de profesor en la institución.

El siguiente paso fue obtener los pesos de estos criterios (Tabla 3), para lo cual se aplicó AHP, llegando a lo siguiente:

La razón de consistencia ha sido de 0,0613, que indica que los resultados son consistentes y el análisis AHP es válido para definir los pesos de los 11 criterios.

Para el caso de estudio, se aplica a 6 candidatos a ocupar la posición docente, siendo la matriz de decisión (Tabla 4), la siguiente:

Esta matriz incluye en su última fila los pesos de los criterios obtenidos con AHP.

## RESULTADOS

Luego se procedió a aplicar cada uno de los 5 métodos, iniciando con SAW, llegando a las siguientes puntuaciones (Tabla 5),  $S_i$ :

El mejor candidato ha sido D, seguido de F, C, E, B y A.

Luego, al aplicar la metodología Moora, se llega a los siguientes valores de funciones de agregación  $Y_i$  (Tabla 6).

Tabla 3. Pesos de los criterios.

Criterio	Peso
Experiencia Docente	0,047
Experiencia Profesional	0,047
Formación Académica	0,272
Formación Docente	0,066
Producción Académica	0,034
Clase Muestra	0,136
Entrevista	0,136
Examen Psicométrico	0,093
Examen Médico	0,011
Inglés	0,021
TIC	0,136
Total	1,000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Matriz de decisión del caso de estudio.

Criterios	Exp Doc	Exp Prof	Form Acad	Form Doc	Prod Acad	Clase	Entrv	Ex Psic	Ex Med	Inglés	TIC
Candidato											
A	3	9	7	2	5	7	8	9	8	9	7
B	9	4	8	9	8	7	6	8	7	7	7
C	7	5	9	8	8	8	7	7	7	8	8
D	6	10	8	6	7	9	9	9	8	9	10
E	10	3	9	9	8	7	6	7	7	7	9
F	7	8	8	5	7	8	9	8	9	9	8
Peso	0,047	0,047	0,272	0,066	0,034	0,136	0,136	0,093	0,011	0,021	0,136

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Puntuaciones y ranking de los candidatos con SAW.

Candidato	Puntaje, $S_i$	Ranking
A	0,750	6
B	0,802	5
C	0,856	3
D	0,923	1
E	0,849	4
F	0,859	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Valores de agregación y ranking de los candidatos con Moora.

Candidato	Puntaje, $S_i$	Ranking
A	0,357	6
B	0,384	5
C	0,408	3
D	0,443	1
E	0,406	4
F	0,411	2

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el resultado ha sido idéntico al obtenido con SAW.

Al aplicar la metodología ANP, se llega a los puntajes siguientes (Tabla 7).

Que es muy parecido al obtenido con SAW y Moora, cambiando solamente las posiciones de los lugares 3 y 4, los que ahora se han invertido, al ser mejor E que C.

Tabla 7. Puntajes y ranking de los candidatos con ANP.

Candidato	Puntaje	Ranking
A	0,148	6
B	0,162	5
C	0,166	4
D	0,184	1
E	0,167	3
F	0,173	2

Fuente: Elaboración propia.

Luego se procede a hacer los cálculos con Promethee, en su versión II, definiendo para todos los criterios las funciones de preferencia del tipo V con indiferencia, con  $p$  igual a 3 y  $q$  igual a cero, con lo cual se llega a los siguientes flujos netos y ranking de las opciones (Tabla 8).

Cuyo resultado es idéntico al obtenido con SAW y Moora.

Finalmente, al aplicar la metodología de Topsis, los índices de similitud,  $D_i^+$  de cada opción (Tabla 9), han resultado los siguientes:

El mejor candidato ha sido otra vez D, pero el segundo sitio lo ocupa en este caso C, seguido de E, F, B y al final A. Estos resultados difieren más a los alcanzados con los otros 4 modelos.

### Análisis de Sensibilidad

Se procedió después a hacer análisis de sensibilidad, el cual consistió en disminuir en cada uno de los

Tabla 8. Flujos y ranking de cada opción con Promethee.

Alternativa	Flujo+	Flujo-	Neto	Rank
A	0,123	0,391	-0,268	6
B	0,120	0,277	-0,157	5
C	0,225	0,179	0,046	3
D	0,388	0,104	0,284	1
E	0,241	0,214	0,027	4
F	0,229	0,161	0,068	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Índices de Similaridad y ranking de los candidatos con Topsis.

Candidato	$D_i^+$	Ranking
A	0,324	6
B	0,468	5
C	0,585	2
D	0,686	1
E	0,565	3
F	0,558	4

Fuente: Elaboración propia.

criterios la calificación del mejor candidato y ver hasta qué valor se daba un cambio en el ranking de las opciones, o sea que D dejase de ser el aspirante mejor evaluado y el posicionado en segundo lugar pasase a ser el de mejor puntuación.

Con ello, los resultados se sintetizan en la Tabla 10, en la cual puede verse que esta tabla se explica para el caso del método SAW para el cual, la calificación del aspirante D en el criterio de experiencia docente, tiene una evaluación

original de 6 puntos, la cual, aun cuando bajase a cero, no habría cambio del mejor candidato; en el criterio de experiencia profesional, D tiene un puntaje inicial de 10 puntos, que aun cuando bajase a cero, tampoco habría cambio del aspirante mejor evaluado, lo cual también sucede para los criterios de formación docente, producción académica, examen médico e Inglés. Para el criterio de formación académica, D tiene un puntaje inicial de 8, que, si bajase a 5, habría cambio en el aspirante mejor evaluado, siendo entonces F, que ocupaba la segunda posición.

Se observa que, de los 5 métodos aplicados al caso, el que ha resultado con la mayor sensibilidad ha sido el ANP, ya que se dio cambio del aspirante mejor evaluado en los 11 criterios de evaluación, luego le siguió Topsis con cambio en 8 de los criterios, seguido de Moora con 6, SAW con 5 y el menos sensible fue Promethee, para el cual sólo se dio cambio en 4 de los criterios.

En cuanto a los criterios para los que hubo cambio del candidato mejor evaluado, los más sensibles han sido la formación académica, la clase muestra, la entrevista y el manejo de TIC, ya que hubo cambio en estos criterios para los 5 métodos aplicados, siendo estos criterios los de mayor peso, lo cual incide al ser más importantes en la evaluación global del candidato. Los criterios para los cuales hubo menos cambios fueron la producción académica, el examen médico y el inglés, ya que para éstos, sólo se dio cambio con la metodología ANP y no con el resto de los métodos.

Si se analiza el criterio de formación académica, para el cual el peso del criterio fue el máximo

Tabla 10. Análisis de sensibilidad con los 5 métodos.

Método	Lugar 1	Lugar 2	Exp Doc	Exp Prf	F Ac	F Doc	Prdn Acad	Clase	Entrv	Ex Psic	Ex Med	Inglés	TIC	No Crit
Calif 1			6	10	8	6	7	9	9	9	8	9	10	
SAW	D	F	No	No	5	No	No	5	4	2	No	No	5	5
Moora	D	F	No	0	5	No	No	4	5	2	No	No	5	6
ANP	D	F	1	5	3	1	2	4	4	3	2	3	5	11
Promethee	D	F	No	No	6	No	No	4	4	No	No	No	6	4
Topsis	D	C	1	2	7	3	No	5	6	4	No	No	6	8
No. Métodos			2	3	5	2	1	5	5	4	1	1	5	

Fuente: Elaboración propia.

(0,272), hubo cambio del aspirante mejor evaluado con los 5 métodos, pero el más sensible fue Topsis, ya que con una disminución de un punto (de 8 puntos iniciales bajar a 7), habría cambio; mientras que si la evaluación del candidato D bajase a 6, se daría cambio con Promethee; si bajase a 5, se daría cambio con SAW y Moora; y con ANP habría modificación sólo si su evaluación fuese de 3 puntos, siendo el método menos sensible respecto a este criterio.

Otra prueba que se realizó fue la de incrementar en una unidad la evaluación del segundo candidato mejor posicionado en los 4 criterios más importantes, como fueron la formación académica, la clase muestra, la entrevista y el uso de TIC y ver si con esto desplazaba al mejor aspirante, lo cual se dio para los 5 métodos utilizados en este estudio, lo cual muestra que, con puntuaciones más parecidas, la decisión a la que se llega con cualquier metodología puede verse afectada.

## CONCLUSIONES

Para el caso bajo estudio, todos los métodos han coincidido en el candidato mejor evaluado, que ha sido D, lo cual muestra que todos llevarían a la misma decisión.

Esto podría modificarse si las diferencias entre las puntuaciones de los diferentes candidatos fuesen más parecidas. En este caso el candidato D ha tenido las mejores evaluaciones en varios criterios.

Si fuese el caso de contratar a dos docentes, el segundo sitio sería para F, ya que 4 de los 5 métodos manejados lo tienen en segundo sitio y sólo Topsis seleccionaría a C.

Conforme al análisis de sensibilidad para el cambio en el mejor aspirante, el método más sensible en general ha sido ANP, ya que presenta cambios en la mejor decisión si se modifican cada uno de los 11 criterios, mientras que el menos sensible ha sido Promethee con cambios en solo 4 de los criterios, que son los de mayor peso. Sin embargo, Promethee ha sido más sensible que ANP a un cambio en el mejor candidato en el criterio de formación académica, ya que con obtener un puntaje de 6 habría cambio, mientras que con ANP la evaluación de D debería bajar hasta 3 para que se diera tal cambio.

En cuanto a la sensibilidad de cada criterio, se ha dado en función de los pesos de los criterios, siendo más sensible el resultado si el peso del criterio es mayor.

Si las puntuaciones de las opciones de decisión -en este estudio los candidatos al puesto docente- fuesen similares, la decisión podría cambiar.

En general, se concluye que los resultados de los 5 modelos de decisión aplicados a este caso, son similares, aunque no idénticos, lo cual muestra que es de utilidad usarlos para la toma de decisiones, en este caso la selección del mejor aspirante a un puesto docente.

Además, este caso de estudio muestra que puede ser una buena aportación para las instituciones de educación superior adoptar como guía el proceso de selección de su personal docente aquí descrito.

A futuro, la institución educativa deberá estar atenta a los resultados que se vayan dando con este proceso propuesto, a fin de hacerle los ajustes pertinentes conforme se vaya aplicando en la selección de personal, siendo uno de ellos el de utilizar otros modelos de decisión multicriterio, en caso que no hubiese coincidencia en los que se han aplicado.

## REFERENCIAS

- [1] A. García-Aguado, E. Martínez-Rodríguez, C. Del Campo-Campos y J.M. López-Zafra, *Técnicas multicriterio de ayuda a la decisión*, 1era ed. Madrid, España: Pearson Educación, 2013, pp. 1-8.
- [2] E.K. Zavadskas and Z. Turskis, "A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision making," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 16, no. 2, pp. 159-172, 2010, doi: 10.3846/tede.2010.10.
- [3] U.S. Kashid, A.U. Kashid, and S.N. Mehta, "A review of mathematical multi-criteria decision models with a case study," in *International Conference on Efficacy of Software Tools for Mathematical Modeling (ICESTMM '19)*, Mumbai, India, Abril 2019, pp. 111-124, doi:10.1729/Journal.20927.
- [4] C.L. Hwang and K. Yoon, *Multiple attribute decision making: Methods and applications*,

- 1st ed. Heidelberg, Germany: Springer Berlin, 1981, pp. 58-191.
- [5] V. Podvezko, S. Mitkus, and E. Trinkuniene, "Complex evaluation of contracts for construction," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 16, no. 2, pp. 287-297, 2010, doi: 10.3846/jcem.2010.33.
- [6] V. Podvezko, "Comprehensive evaluation of complex quantities," *Business: Theory and Practice*, vol. 9, no. 3, pp. 160-168, 2008, doi: 10.3846/1648-0627.
- [7] V. Podvezko, "The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS," *Engineering Economics*, vol. 22, no. 2, pp. 134-146, 2011, doi: 10.5755/j01.ee.22.2.310.
- [8] J.A. Moreno-Calderón, "Modelo para la evaluación multicriterio de tecnologías en salud", Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2021.
- [9] M.T. Lamelas-Gracia, "Aplicación de técnicas de análisis multicriterio a la localización óptima de extracciones de arenas y gravas en el entorno de Zaragoza", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, vol. 66, pp. 25-48, 2014, doi: 10.21138/bage.1778.
- [10] M.T. Lamelas-Gracia, "Comparación de técnicas de evaluación multicriterio en sistemas de ayuda a la decisión espacial para la localización óptima de uso residencial," *Geographicalia*, no. 62, pp. 89-114, 2012, doi: 10.26754/ojs\_geoph/geoph.201262849.
- [11] M. León-Santiesteban y A.M. Larrañaga-Núñez, "Integración de conocimiento en restaurantes mediante el análisis multicriterio para la toma de decisiones", *Inquietud Empresarial*, vol. 19, no. 2, pp. 25-38, 2020, doi: 10.19053/01211048.9005.
- [12] W.K. Brauers and E.K. Zavadskas, "The MOORA method and its application to privatization in a transition economy," *Control and Cybernetics*, vol. 35, no. 2, pp. 445-469, 2006.
- [13] M. Chérrez-Troya, J. Martínez-Gómez, D. Peralta-Zurita y E.A. Llanes-Cedeño, "Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para discos de frenos", *Ingenius*, no. 20, pp. 83-95, 2018, doi: 10.17163/ings.n20.2018.08.
- [14] B. Mallick, B. Sarkar, and S. Das, S, "Application of the Moora method for multi-criteria inventory classification," *Indian Science Cruiser*, vol. 31, no. 6, pp. 15-21, 2017, doi: 10.24906/isc/2017/v31/i6/166459.
- [15] M.Á. Curchod, C.L. Alberto y C.E. Carignano, "Diseño de un sistema de evaluación de postulantes mediante el método MOORA: caso de concurso público en la UNC", en *Multimetodologías para el análisis y mejora de sistemas sociales y tecnológicos. Hacia el desarrollo sustentable*, 1era ed. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, 2016, pp. 23-35.
- [16] P.R. Salazar-Martínez, "Selección de materiales sostenibles para aplicación en un guardafango vehicular", Tesis de Magíster, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, 2022.
- [17] J.P. Granada-Molina, "Selección de materiales alternativos para el aislamiento de cajuela de vehículos mediante MCDM y simulación", Tesis de Maestría, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, 2022.
- [18] J. Aznar-Bellver, *Curso de valoración de activos por métodos multicriterio AHP, ANP y CRITIC*, 1era ed. Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València, 2020, pp. 157-180.
- [19] J.M. Farfán-Tiscar, "Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y Proceso Analítico en Red (ANP) para la toma de decisión multicriterio", Tesis de Máster, Universidad de Cantabria, Santander, España, 2020.
- [20] J.A. Fernández-Ferreras, "Evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica basada en la técnica de decisión multicriterio fuzzy-anp", Tesis de Doctorado, Universidad de Cantabria, Santander, España, 2019.
- [21] M.L. Rodríguez-Carrillo, L. Avelar-Sosa, y J.L. García-Alcaraz, "Aplicación de metodología multicriterio de proceso analítico de red para desarrollo de proveedores", en *2º Coloquio de Posgrados IIT*, vol. 1, no. 2, Ciudad Juárez, México, 12 Noviembre 2021, pp. 21-48.
- [22] C. Alcalá-Casanova, J. Carrión-Baz, D. Barkatz y P. Aragonés-Beltrán, "Selección de un proveedor para la fabricación de una luminaria mediante la técnica de ayuda a la decisión ANP", en *25th International Congress on Project Management and Engineering*, Alcoy, España, 6-9 Julio 2021, pp. 903-913.

- [23] R. Fernández-Sánchez, “Diseño y validación de un sistema de selección de proveedores para una gran empresa del sector energético basado en un enfoque multicriterio discreto”, Tesis de Doctorado, Universitat Politècnica de València, Valencia, España, 2019.
- [24] L. García-Lozano, “Análisis y aplicación del Proceso Analítico en Red (ANP) para la valoración económica y evaluación del rendimiento de deportistas”, Tesis de Máster, Universitat Politècnica de València, Valencia, España, 2019.
- [25] T.L. Saaty, *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, 1st ed. Pittsburgh, PA, USA: RWS Publications, 1996.
- [26] M. Behzadian, R.B. Kazemzadeh, A. Albadvi, and M. Aghdasi, “PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications,” *European Journal of Operational Research*, vol. 200, no. 2, pp. 198-215, 2010, doi: 10.1016/j.ejor.2009.01.021.
- [27] O. Senvar, G. Tuzkaya, and C. Kahraman, “Multi criteria supplier selection using fuzzy PROMETHEE method,” in *Supply chain management under fuzziness*, Heidelberg, Germany: Springer Berlin, 2014, pp. 21-34, doi: 10.1007/978-3-642-53939-8\_2. 2014.
- [28] L. Abdullah, W. Chan, and A. Afshari, “Application of PROMETHEE method for green supplier selection: a comparative result based on preference functions,” *Journal of Industrial Engineering International*, no. 15, pp. 271-285, 2019, doi:10.1007/s40092-018-0289-Z.
- [29] R. Gupta, A. Sachdeva, and A. Bhardwaj, “Selection of logistic service provider using fuzzy PROMETHEE for a cement industry,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 23, no. 7, pp. 899-921, 2012, doi: 10.1108/17410381211267727.
- [30] M.E. Fontana and C.A. Cavalcante, “Use of Promethee method to determine the best alternative for warehouse storage location assignment,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 70, no. 9-12, pp. 1615-1624, 2014, doi: 10.1007/S00170-013-5405-Z.
- [31] Y. Wu, M. Yang, H. Zhang, K. Chen, and Y. Wang, “Optimal site selection of electric vehicle charging stations based on a cloud model and the PROMETHEE method,” *Energies*, vol. 9, no. 3, pp. 157, 2016, doi: 10.3390/en9030157.
- [32] B. Eleveli, “Logistics freight center locations decision by using Fuzzy-PROMETHEE,” *Transport*, vol. 29, no. 4, pp. 412-418, 2014, doi: 10.3846/16484142.2014.983966.
- [33] A. Kocmanová, M. Dočekalová, and J. Luňáček, “PROMETHEE-GAIA Method as a Support of the Decision-Making Process in Evaluating Technical Facilities”, in *Environmental Software Systems, Fostering Information Sharing. ISESS 2013. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Hřebíček J., Schimak G., Kubásek M., Rizzoli A.E. eds., vol. 413, Heidelberg, Germany: Springer Berlin, 2013, pp. 44-53, doi: 10.1007/978-3-642-41151-9\_5.
- [34] P. Karande and S. Chakraborty, “Application of PROMETHEE-GAIA method for non-traditional machining processes selection,” *Management Science Letters*, vol. 2, no. 6, pp. 2049-2060, 2012, doi: 10.5267/j.msl.2021.06.015.
- [35] M. Sapkota, M. Arora, H. Malano, A. Sharma, and M. Moglia, “Integrated Evaluation of Hybrid Water Supply Systems Using a PROMETHEE-GAIA Approach,” *Water*, vol. 10, no. 5, pp. 1-15, 2018, doi: 10.3390/w10050610.
- [36] O.A. Fosado-Téllez, J.L. Cue-García, A. Torres-García, E. Fosado-Obregón, V. León-Aguilar y J. Mero-Muñoz, “Selección de alternativas en el tratamiento de suelos degradados utilizando métodos multicriterio”, *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, no. 17, pp. 6-17, 2017, doi: 10.33936/la\_tecnica.v0i.17.690.
- [37] C. Macharis, J. Springael, K. De Brucker, and A. Verbeke, “PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP,” *European Journal of Operational Research*, vol. 153, no. 2, pp. 307-317, 2004.
- [38] G. Kabir and R. S. Sumi, “Integrating fuzzy analytic hierarchy process with PROMETHEE method for total quality management consultant selection,”

- Production & Manufacturing Research*, vol. 2, no. 1, pp. 380-399, 2014, doi: 10.1080/21693277.2014.895689.
- [39] M. Fontana-Viñuales, “Métodos de decisión multicriterio AHP y PROMETHEE aplicados a la elección de un dispositivo móvil”, Tesis de Licenciatura, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2015.
- [40] M. Zeleny, *Multiple criteria decision making*, 1st ed. New York, NY, USA: Mc Graw Hill, 1982.
- [41] G. Kim, C.S. Park, and K.P. Yoon, “Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement,” *International Journal of Production Economics*, vol. 50, no. 1, pp. 23-33, 1997, doi: 10.1016/S0925-5273(97)00014-5.
- [42] J. Mayor, S. Botero y J.D. González-Ruiz, “Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia”, *Obras y Proyectos*, no. 20, pp. 56-74, 2016, doi: 10.4067/S0718-28132016000200005.
- [43] J.C. Osorio-Gómez, J.L. García-Alcaraz y D.F. Manotas-Duque, “AHP Topsis para la selección de proveedores considerando el riesgo asociado a la calidad”, *Revista Espacios*, vol. 39, no. 16, pp. 8-20, 2018. [En línea]. Disponible: [www.revistaespacios.com/a18v39n16/a18v39n16p08.pdf](http://www.revistaespacios.com/a18v39n16/a18v39n16p08.pdf)
- [44] A. Mendoza-Mendoza, E. Delahoz-Domínguez y D. Mendoza-Casseres, “Localización de locales comerciales: un enfoque de selección multicriterio”, *Revista Escuela de Administración de Negocios*, no. 87, pp. 207-219, 2019, doi: 10.21158/01208160.n87.2019.2446.
- [45] J. Morillo-Rodríguez, “Aplicación de Métodos Multicriterio para selección de vehículos: TOPSIS y PROMETHEE”, Tesis de Máster, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2021.
- [46] J.D. Hernández-Vásquez, J.E. Solano-De la Rosa y F.E. Ferreira-Medina, “Modelo multicriterio AHP-TOPSIS: una estrategia para evaluar alternativas de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables”, *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 9, no 2, pp. 175-191, 2021, doi: 10.17081/invinno.9.2.4482.
- [47] C.E. Carignano, C.L. Alberto y R. Ercole, “Un enfoque de decisión multicriterio aplicado a un problema de selección en el sector de la construcción”, *Revista de Ciencias Empresariales*, no. 2, pp. 86-98, 2020, doi: 10.37767/2468-9785(2016)006.
- [48] M.E. Valarezo-Orejuela, “Modelo multicriterio para priorizar proyectos de alumbrado público en la región sur del Ecuador”, Tesis de Maestría, Universidad Internacional de La Rioja, Logroño, España, 2021.
- [49] R. Pérez-Ramírez y M.Á. Martínez-Damián, “Modelo de decisión multicriterio para seleccionar los mejores proyectos productivos en el medio rural mexicano”, *AGROProductividad*, vol. 13, no. 2, pp. 101-108, 2020, doi: 10.32854/agrop.vi.1470.
- [50] Y.M. Wang and Y. Luo, “On Rank reversal in decision analysis,” *Mathematical and Computing Modelling*, vol. 49, no. 5-6, pp. 1221-1229, 2009, doi: 10.1016/j.mcm.2008.06.019.
- [51] M.S. García-Cascales, M.T. Lamata, and J.M. Sánchez-Lozano, “Evaluation of photovoltaic cells in a multi-criteria decision making process,” *Annals of Operations Research*, vol. 199, no. 1, pp. 373-391, 2011, doi: 10.1007/s10479-011-1009-x.
- [52] J.M. Izar-Landeta, *Modelos de Decisión Multicriterio en el Ámbito Administrativo*, 1era ed. México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos, 2022, pp. 125-131.
- [53] J.M. Izar-Landeta, J.A. Nájera-Saldaña y L.A. Zárate-Camacho, “Selección del personal docente mediante el Proceso de Red Analítica (ANP)”, Instituto Tecnológico Superior de Rioverde, Rioverde, Reporte Técnico, 31 Julio 2022.