Original

Elección de la Mejor Decisión de Inversión en San Luis Potosí Mediante Modelos Multicriterio.

Choosing the Best Investment Decision in San Luis Potosí Through Multicriteria Models.

Izar Landeta, Juan Manuel*, Nájera Saldaña, José Adrián**,

Zárate Camacho, Lizbeth Angélica***

*Doctor en Administración. Tecnológico Nacional de México, ITS Rioverde. Email: jmizar@hotmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3187-6481.

**Doctor en Administración. Tecnológico Nacional de México, ITS Rioverde. Email: jose.ns@rioverde.tecnm.mx, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1795-4471.

***Maestra en Educación Basada en Competencias. Tecnológico Nacional de México, ITS Rioverde. Email: lizbeth.zc@rioverde.tecnm.mx, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6834-1667.

Correo para recibir correspondencia:

Juan Manuel Izar Landeta
jmizar@hotmail.com

ISSN 2448-4733

DOI:https://doi.org/10.19136/hitos.a30n87.6337

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Original

RESUMEN

OBJETIVO: Elegir la mejor opción entre cinco, bajo 10 criterios de decisión, para hacer una inversión en la ciudad de San Luis Potosí utilizando cuatro modelos de decisión multicriterio.

MATERIAL Y MÉTODO: La ponderación de los pesos de los criterios de decisión se ha realizado con el Análisis Jerárquico de Priorización de Saaty y los modelos de decisión multicriterio aplicados han sido Moora, Topsis, Electre y Smart, los cuales se utilizaron para clasificar las cinco opciones de decisión y ver cuál de ellas es la mejor.

RESULTADOS: Los modelos no coincidieron en cuanto a la mejor decisión, ya que los dos primeros dan como la mejor decisión la inversión en García Diego, mientras que los dos restantes eligen a Torre Diamante.

CONCLUSIONES: Aun cuando no hay coincidencia de los cuatro modelos aplicados, es obvio que las dos mejores opciones de decisión son García Diego y Torre Diamante. Esto es una ventaja que brindan los modelos multicriterio respecto a los métodos tradicionales de evaluación de proyectos, que solo consideran aspectos cuantitativos para elegir al mejor proyecto. Con los modelos multicriterio se incluyen también criterios cualitativos, que toman en cuenta las preferencias del decisor y llegan a una mejor decisión.

PALABRAS CLAVE: Opciones de decisión, Criterios de decisión, Modelos multicriterio, Matriz de decisión.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To choose the best option among five, under 10 decision criteria, to make an investment in the city of San Luis Potosí using four multi-criteria decision models.

MATERIAL AND METHOD: The weighting of the weights of the decision criteria has been carried out with Saaty's Hierarchical Prioritization Analysis and the multi-criteria decision models applied have been Moora, Topsis, Electre and Smart, which were used to classify the five decision options and see which of them is the best.

RESULTS: The models did not agree regarding the best decision, since the first two give the investment in García Diego as the best decision, while the remaining two choose Torre Diamante.

CONCLUSIONS: Even though there is no coincidence of the four models applied, it is obvious that the two best decision options are García Diego and Torre Diamante. This is an advantage that multi-criteria models provide over traditional project evaluation methods, which only consider quantitative aspects to choose the best project. With multi-criteria models, qualitative criteria are also included that consider the preferences of the decision-maker and arrive at a better decision.

KEY WORDS: Decision options, Decision criteria, Multicriteria models, Decision matrix.

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Original

Los modelos multicriterio tienen una amplísima aplicación en los ámbitos administrativo y de la ingeniería, ya que permiten la toma de decisiones en una gran variedad de casos.

En este estudio se presenta su aplicación a alternativas de inversión en la ciudad de San Luis Potosí, a fin de seleccionar la mejor de ellas entre cinco posibilidades, de modo que el inversionista tome la decisión óptima.

Invertir es una decisión financiera que puede brindar múltiples beneficios a una persona o empresa, como desarrollo personal y educación financiera, medio de protección contra la inflación, diversificación del riesgo, entre otros. Una excelente opción para invertir es el sector inmobiliario, toda vez que permite construir y transferir riqueza a futuras generaciones. Al igual que cada uno de los sectores económicos del país, este ha ido evolucionando y adaptando la tecnología en su funcionamiento. De esta manera, existen al día de hoy, diversas plataformas que potencializan este negocio para beneficio de sus clientes y agentes.

Según Lamudi (2024) la situación macroeconómica actual hace que el consumidor evalúe sus inversiones, pues los mexicanos enfrentan al inicio del 2024 una inflación nacional moderada (4.6% anual acumulada) y las tasas de interés de referencia en niveles elevados sin precedentes (11.25%).

Ahora bien, según información de Data México (2024), el sector inmobiliario aporta al PIB 2.78 billones de pesos y una población ocupada de 303 mil, lo que lo hace un sector atractivo por su solidez, su crecimiento poblacional y su urbanización.

En el Estado de San Luis Potosí, la Asociación Mexicana de Profesionistas Inmobiliarios (AMPI) citado por el Universal (2022) afirma que, si se busca exclusividad, los Clubes de Golf La Loma y Campestre son los adecuados, ambos localizados en una zona con plusvalía alta. Sobresalen sus sistemas de seguridad y servicios de mantenimiento de primera calidad. Dentro de las zonas de alto rango también se encuentran El Pedregal (con distintas divisiones), Lomas, Arquerías y Villa Antigua. Asimismo, se pueden encontrar zonas consideradas de rango medio, como son Villa Magna, Horizontes y San Ángel, entre otras.

Uno de los indicadores para calcular el precio de las propiedades es el metro cuadrado, el cual se incrementa a medida que tienen mayor plusvalía; de hecho, en 2019, la ciudad de San Luis Potosí estaba en el sitio 15 en el país con un precio medio de 12 mil 891 pesos por metro cuadrado (Forbes, s.f. citado por El Sol de San Luis, 2019). En 2022, en la capital potosina se tenía una alta demanda de vivienda en la zona poniente, que es parte de la zona metropolitana,

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

como una de las más caras hasta el momento, donde un terreno llegó a costar desde 16 mil pesos, hasta más de 20 mil por metro cuadrado. Esta situación encarece aún más el costo final de una vivienda, así como de predios y bienes inmuebles, lo que tiene como consecuencia una baja competitividad debido a los altos precios. Actualmente, el precio promedio por metro cuadrado en la capital del estado potosino es de 23 mil 608 pesos, lo que ubica a esta entidad en el lugar 18 en el ranking nacional (Lamudi, 2024).

Otro indicador interesante es el índice Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) de la vivienda en México; en su cuarto trimestre 2023, señala que los precios de las viviendas con créditos hipotecarios aumentaron 10.1%, y el acumulado anual fue de 10.9% (SHF, 2024). En este sentido, de acuerdo con el Banco de México, la tasa hipotecaria promedio en el cuarto trimestre de 2023 fue 11.5%, en este año de referencia a nivel nacional, el precio promedio de una vivienda fue de 1 millón, 617 mil pesos, y la mediana del precio 951 mil pesos; esto quiere decir que, la mitad de las operaciones de compra-venta de vivienda en el mercado se realizaron por debajo de este monto, y la otra mitad por encima. Así, el índice SHF de San Luis Potosí fue de 8.3%.

A continuación se presenta un concentrado que muestra los distintos precios medios de vivienda en San Luis Potosí, así como las cantidades y precios de propiedades según la zona en que se ubican (Tabla 1). Asimismo, se puede observar que las zonas se han colocado en orden descendente de precios, siendo la más cara la del Club de Golf La Loma y la más barata la de Villa de Pozos. Es notorio que esta última zona es la de mayor desarrollo, disponibilidad de viviendas y actividades de construcción en este momento, la cual queda muy próxima a la zona industrial de la ciudad, lo que la hace asequible para los empleados que lleguen a laborar a nuevas industrias que se vayan estableciendo.

En este trabajo se pretende analizar bajo determinados criterios, algunos de ellos cuantitativos y otros cualitativos, cuál sería la mejor opción para invertir de cinco en total, de las que están al alcance de un nuevo inversionista, que pretende hacer la inversión para rentar el inmueble adquirido. Esto se hace con la metodología de los modelos multicriterio de decisión, que, para este caso de estudio, se han elegido cuatro de ellos: Moora, Topsis, Electre y Smart, de los cuales el primero y el último, son modelos que se basan en una función de utilidad, mientras que Topsis pertenece a los métodos que miden la distancia respecto a la solución ideal y Electre es de los modelos de superación (o outranking) que compara las opciones para ver cuál de ellas domina al resto. Con esto puede hacerse un comparativo entre los cuatro modelos, para ver si todos coinciden en la mejor opción de decisión.

Tabla 1
Precios medio y estadísticas inmobiliarias por zona en la ciudad de San Luis Potosí

Zona de San Luis Potosí	Precio medio de vivienda	Mediana de m^2 de construcción	Mediana del precio/m2 de construcción	Mediana de m^2 de terreno	Mediana del precio/m^2 de terreno	Precio de renta promedio	Casas disponibles en plataforma
Club de Golf La Loma	$8,853,640	403	$21,969	345	$25,663	$44,268	46
Lomas del Pedregal	$5,508,930	300	18,363	200	27,545	25,872	7
Miravalle	5,330,090	290	18,380	250	21,320	20,658	2
Villa Magna	2,946,290	216	13,640	160	18,414	13,280	23
García Diego	2,843,000	128	22,211	146	19,473	8,046	0
Villa De Pozos	1,475,610	124	11,900	120	12,297	9,989	61

Nota. Elaboración propia con información del Portal Inmobiliario Propiedades.com

MATERIAL Y MÉTODO

En este trabajo de investigación se analizaron cinco alternativas de inversión en la ciudad de San Luis Potosí, cada una de las cuales se evalúa a la luz de 10 criterios que se han seleccionado conforme a la lógica de los académicos e inversionistas.

Estos 10 criterios son los siguientes: el tiempo para recuperar la inversión, el monto, la facilidad de poder rentar el inmueble, la seguridad de la zona, la disponibilidad de servicios (como pueden ser agua, energía eléctrica, gas y telefonía e internet), la plusvalía del inmueble, el tráfico vehicular en la zona, la ubicación del inmueble, el que existan áreas verdes y la proximidad de cada inmueble al sitio de trabajo. Los dos primeros son cuantitativos y los ocho restantes cualitativos, los cuales se han evaluado para definir su importancia con la metodología del Análisis Jerárquico de Priorización de Saaty (AHP, por sus siglas en inglés, Analytic Hierarchy Process).

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Método AHP

El AHP consiste en hacer comparaciones pareadas entre cada par de criterios. Para estos comparativos, la siguiente Tabla presenta la guía de Saaty para la asignación de valores numéricos a la matriz de comparaciones:

Tabla 2
Valores numéricos para el comparativo de factores

X_{ij}	Comparativo de Criterios C_i con C_j
1	Igualmente importante
3	Ligeramente más importante
5	Más importante
7	Notablemente más importante
9	Absolutamente más importante

Nota. Saaty (1980).

Mientras que los valores transpuestos en la matriz de comparaciones, serán los inversos de los anteriores. Una vez que se tiene la matriz de comparaciones, se normaliza por la suma cada columna de la misma y el peso de cada factor será el promedio de la suma de cada fila en la matriz normalizada.

Una vez obtenidos los pesos de los factores, se procede al análisis de consistencia, que es muy importante, ya que los resultados deben mostrar consistencia, ya que, de no ser así, la ponderación no es válida.

Para este fin, se aplica el procedimiento siguiente:

1. Se calcula el vector *C*, que es el producto de la multiplicación de la matriz de comparaciones sin normalizar, por el vector de pesos de los factores, conforme a las reglas de multiplicación matricial:

$$\begin{bmatrix} 1 & X_{12} & X_{13} & ..... & X_{1n} \\ 1/X_{12} & 1 & X_{23} & ..... & X_{2n} \\ 1/X_{13} & 1/X_{23} & 1 & ..... & X_{3n} \\ ..... & ..... & ..... & ..... & ..... \\ 1/X_{1n} & 1/X_{2n} & 1/X_{3n} & ..... & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ ..... \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ ..... \\ C_n \end{bmatrix} \tag{1}$$

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Siendo *n* el número de factores que se van a ponderar.

2. Se obtiene el vector *D*, cuyos elementos d_j resultan de dividir el elemento correspondiente del factor en el vector *C*, entre su peso:

$$d_j = \frac{c_j}{W_j} \tag{2}$$

3. Se obtiene el autovalor máximo λ_{max}, que es la media de los elementos del vector *D*:

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^{n} d_j}{n} \tag{3}$$

4. Se calcula el índice de consistencia *IC*, con la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{4}$$

5. Se obtiene la razón de consistencia *CR*:

$$CR = \frac{IC}{IA} \tag{5}$$

Siendo *IA* el índice aleatorio, que depende del tamaño de la matriz, conforme a los valores de la Tabla siguiente (Saaty, 1980):

Tabla 3
Valores del índice aleatorio en función del tamaño de la matriz

Tamaño de Matriz (n)	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Índice Aleatorio (IA)	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

Nota. Elaboración propia.

Si *CR* es menor o igual a 0.10, habrá consistencia, ya que si es mayor habría inconsistencia y el análisis debe repetirse; de igual manera, si fuese demasiado bajo, también es inconveniente, ya que en este caso su contribución a discriminar entre los factores es poco significativa.

Asimismo, cada opción se evalúa con cuatro diferentes modelos multicriterio, para ver si todos coinciden y en cuál de ellos es la mejor alternativa de inversión. Estos modelos son Moora, Topsis, Electre y Smart.

Método Moora

El método MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) fue utilizado por vez primera por Brauers y Zavadskas a mediados de la primera década del tercer milenio, quienes lo usaron en la privatización de algunos servicios de gobierno en economías de transición en Europa del Este (Brauers y Zavadskas, 2006).

Es una metodología apropiada cuando se da el caso que los criterios de decisión tengan unidades de medida muy diversas, los cuales con el proceso de normalización se homologan, para evaluar con una mejor base las alternativas de decisión.

La metodología consta de los siguientes pasos:

1. Definir la matriz inicial de decisión, en la cual las opciones de decisión se ubican como filas y los criterios como columnas.

2. Determinar los pesos de los criterios, W_j conforme a su importancia mediante alguna técnica de priorización.

3. Obtener la matriz normalizada de radios y ponderada por los pesos de los criterios, donde cada elemento se obtiene con la siguiente fórmula:

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

Donde:

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 estima la función de agregación para cada alternativa Y_i, por medio de la ecuación siguiente:

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

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

En esta ecuación, suman los *g* criterios que se busca maximizar y restan los *n-g* criterios que se desea minimizar.

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

Método Topsis

Esta metodología se debe a C. L. Hwang y K. Yoon desde inicios de la década de los 80 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) (Hwang y Yoon, 1981) y se basa en el axioma de Zeleny (1982) que establece que es racional elegir aquella opción de decisión que quede más cercana a la solución ideal, o más alejada de la solución antiideal.

Hay algunos investigadores como Wang y Luo (2009) que comentan que una de las desventajas de esta metodología es que en caso de eliminarse una de las opciones iniciales, el orden de clasificación de las mismas podría invertirse, lo que representa un inconveniente para el decisor, ya que no hay confiabilidad. No obstante, estos autores no aportan ninguna solución para esta problemática.

Al respecto, García-Cascales, Lamata y Sánchez-Lozano (2011) sugieren una solución para evitar el orden inverso mediante nuevas fórmulas para la norma y el cálculo de las soluciones ideales positiva y negativa.

Si una opción de decisión cumple con ser la más próxima a la ideal y la más lejana a la antiideal, es la que debe seleccionarse. Sin embargo, puede darse el caso que la alternativa más cercana a la ideal no sea la más alejada a la antiideal, por lo cual se introduce el concepto de similaridad, el que se explica más adelante y permite obtener una puntuación para cada opción de decisión, de modo que se elija aquella con el puntaje máximo.

La metodología consta de los siguientes pasos:

1. Se plantea y obtiene la matriz de decisión, colocando en ella a los criterios como columnas y las opciones de decisión como filas, quedando de la manera siguiente:

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Tabla 4
Matriz de decisión

Criterio Alternativa	C_1	C_2	C_3	…..	C_n
A_1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	…..	X_{1n}
A_2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	…..	X_{2n}
…..	…..	…..	…..	…..	…..
A_m	X_{m1}	X_{m2}	X_{m3}	…..	X_{mn}

Nota. Elaboración propia.

2. Se obtienen los pesos de los criterios, W_j, mediante algún método de ponderación, debiendo ser la suma de todos uno.

3. Normalizar vectorialmente la matriz de decisión con la siguiente ecuación:

$$v_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}^2}} \qquad j = 1,2,....,n \tag{8}$$

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

4. Obtener la matriz normalizada ponderada, en la que cada elemento, p_{ij}, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$p_{ij} = v_{ij} W_j \tag{9}$$

5. 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, el valor mínimo de la columna define (I^+) y el elemento de valor máximo (I^-).

6. Se obtiene para cada alternativa *i*, la distancia ideal positiva, d_i^+, con la expresión matemática:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (p_{ij} - I_j^+)^2} \qquad i = 1,2,.....,m \tag{10}$$

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

y la distancia antiideal, d_i^-:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (p_{ij} - I_j^-)^2} \qquad \mathrm{i} = 1,2,\ldots.., \mathrm{m} \tag{11}$$

7. Se calcula para cada opción de decisión, su índice de similaridad, D_i^+, con la siguiente ecuación:

$$D_i^+ = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \tag{12}$$

8. Se clasifican las opciones conforme al orden decreciente de su índice de similaridad, de modo que la mejor será la que haya alcanzado el máximo valor de este índice.

Método Electre

Bernard Roy desde la década de los 60 creó la primera versión de esta metodología (Electre I), su nombre es una abreviación de ELimination Et Choix Traduisant la REalité (Roy, 1968). Electre I, aun cuando es la primera versión de esta metodología, tiene la ventaja que maneja criterios verdaderos y no pseudo-criterios, lo cual resulta conveniente en ciertos casos.

Existen otras versiones como Electre II, III, IV, IS y TRI, que varían respecto a la original de Roy. Lo que cambia entre versiones es la forma de definir los índices y umbrales de concordancia y discordancia. Las últimas versiones manejan pseudo-criterios, lo que da complejidad a las estructuras de preferencia. Con esto, la incertidumbre se trata con mayor detalle, al incorporar nuevos umbrales, como es el caso de los de preferencia, indiferencia y veto.

En este caso se presenta Electre I, la cual consiste en primer lugar en establecer los pesos de los criterios de decisión mediante alguna metodología de priorización, como puede ser AHP u otra, para luego colocar en la matriz de decisión, la cual consta de m filas y n columnas, ubicando en las filas a cada opción de decisión y en las columnas los criterios de evaluación. Con esto, la matriz queda tal y como se muestra en la Tabla 4, en la cual cada alternativa se representa por A_i y cada criterio como C_j.

Posteriormente, debe obtenerse la matriz normalizada, lo que se hace dependiendo si el criterio de cada columna se desea maximizar o minimizar. Para los criterios a maximizar, los elementos de esa columna deben normalizarse con la siguiente ecuación:

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

$$v_{ij} = \frac{X_{ij} - MinX_{ij}}{MaxX_{ij} - MinX_{ij}} \quad (13)$$

y para los que vayan a minimizarse con la siguiente ecuación:

$$v_{ij} = \frac{MaxX_{ij} - X_{ij}}{MaxX_{ij} - MinX_{ij}} \quad (14)$$

Con eso se tendrá la matriz normalizada (Tabla 5):

Tabla 5
Matriz de decisión normalizada

Criterio Alternativa	C_1	C_2	C_3	…..	C_n
A_1	v_{11}	v_{12}	v_{13}	…..	v_{1n}
A_2	v_{21}	v_{22}	v_{23}	…..	v_{2n}
…..	…..	…..	…..	…..	…..
A_m	v_{m1}	v_{m2}	v_{m3}	…..	v_{mn}

Nota. Elaboración propia.

Se procede entonces a obtener la matriz normalizada ponderada, lo que se logra al multiplicar el elemento de cada columna de esta matriz por el peso del criterio correspondiente a la columna, W_j, conforme a:

$$s_{ij} = v_{ij} W_j \quad (15)$$

Siendo s_{ij} el elemento de la matriz normalizada ponderada, tal y como se muestra en la Tabla siguiente:

Tabla 6
Matriz normalizada ponderada

Criterio Alternativa	C_1	C_2	C_3	…..	C_n
A_1	s_{11}	s_{12}	s_{13}	…..	s_{1n}
A_2	s_{21}	s_{22}	s_{23}	…..	s_{2n}
…..	…..	…..	…..	…..	…..
A_m	s_{m1}	s_{m2}	s_{m3}	…..	s_{mn}

Nota. Elaboración propia.

Posteriormente, se obtiene la matriz de concordancias, que es cuadrada de *m* filas y *m* columnas, ubicándose cada opción de decisión como fila y columna, sin elementos en su

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

diagonal principal, ya que no tiene sentido la comparación de una alternativa consigo misma.

Los elementos de la matriz se obtienen de la manera siguiente: el elemento de la fila *h* y columna *i*, denominado C_{hi}, será la sumatoria de los pesos de los criterios W_j, en los cuales el elemento de la opción *h* supera al de la *i*, más la mitad de aquellos pesos en los que están empatados los elementos de ambas alternativas, mientras que el elemento transpuesto, o sea, de la fila *i* y columna *h*, será la diferencia del valor obtenido antes respecto a la unidad. Para el cálculo del elemento de la fila h y columna i, se aplica la ecuación siguiente (Izar-Landeta, 2022):

$$C_{hi} = \sum_{j}^{Shj>Sij} W_j + \frac{1}{2}\sum_{j}^{Shj=Sij} W_j \qquad (16)$$

y para el elemento transpuesto C_{ih}:

$$C_{ih} = 1 - C_{hi} \qquad (17)$$

Asumiendo que la suma de pesos de los criterios se ha ajustado a uno.

Se procede entonces a obtener la matriz de *discordancias*, la que es de la misma dimensión que la anterior, (de *m* x *m*), siendo m el número de opciones de decisión y, de la misma manera, tendrá con valor de cero las celdas de la diagonal principal, mientras que los elementos restantes se obtienen de la manera que se explica a continuación: el elemento de la fila *h* y columna *i*, D_{hi}, se obtiene al comparar la fila *h* con la *i* tras aplicar la siguiente ecuación:

$$D_{hi} = \frac{\underset{Shj<Sij}{Max}\left|s_{hj} - s_{ij}\right|}{\underset{j}{Max}\left|s_{hj} - s_{ij}\right|} \qquad (18)$$

Es el cociente de la diferencia máxima con la que un elemento de la fila *i* sea mayor al correspondiente de la fila *h*, dividido entre la máxima diferencia que haya entre el comparativo de todos los elementos de ambas filas. En caso de no haber ningún elemento de la fila *i* que supere al correspondiente elemento de la fila *h*, entonces el elemento de la matriz de discordancias D_{hi} es cero.

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

El siguiente paso es obtener los umbrales de concordancia *UC* y discordancia *UD*, siendo el primero de ellos el promedio de todos los elementos de la matriz de concordancias y el segundo el promedio de todos los elementos de la matriz de discordancias.

Luego se procede a obtener la matriz de *dominancias concordante*, que se obtiene a partir de la matriz de concordancias, según la condición siguiente:

$$Si\ C_{hi} \geq UC, su\ valor\ es\ 1$$

$$Si\ C_{hi} < UC, su\ valor\ es\ 0$$

Con lo cual esta matriz sólo tendrá ceros y unos.

Se hace algo similar con la matriz de discordancias para llegar a la matriz de *dominancias discordante*, que se obtiene conforme a lo siguiente:

$$Si\ C_{hi} \leq UD, su\ valor\ es\ 1$$

$$Si\ C_{hi} > UD, su\ valor\ es\ 0$$

La cual también contendrá sólo ceros y unos.

Después se obtiene la matriz de dominancia agregada, en la cual cada elemento se calcula como el producto del respectivo elemento de la matriz de dominancias concordante, multiplicado por el correspondiente elemento situado en la misma posición de la matriz de dominancias discordante. Esta matriz también contendrá sólo unos y ceros y, finalmente, lo que se hace es obtener la sumatoria de los elementos de cada fila y cada columna.

Para analizar las dominancias entre las alternativas, lo que se hace es que de la matriz de dominancia agregada se revisan por fila aquellas celdas que tengan un valor de uno, lo que significa que la opción correspondiente a la fila domina a la de la columna; y de manera similar, a nivel de cada columna, donde aparezca un cero representa que la alternativa de la columna domina a la de la fila; con esto quedan rankeadas todas las opciones de decisión.

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Método Smart

Es un modelo muy simple y consta de los siguientes pasos (Edwards, 1977):

1. Definir la matriz de decisión, colocando en ella las opciones de decisión en cada fila y los criterios en cada columna, con cada elemento X_{ij} siendo la calificación de la opción i en el criterio j. Además, la matriz debe incluir los pesos de cada criterio.

2. Convertir cada elemento de la matriz anterior en la utilidad u_{ij}, la que se obtiene mediante las fórmulas siguientes:

Si el criterio se va a minimizar,

$$u_{ij} = \frac{100(Max_j X_{ij} - X_{ij})}{Max_j X_{ij} - Min_j X_{ij}} \qquad (19)$$

y si el criterio se va a maximizar:

$$u_{ij} = \frac{100(X_{ij} - Min_j X_{ij})}{Max_j X_{ij} - Min_j X_{ij}} \qquad (20)$$

Siendo $Max_j\, X_{ij}$ y $Min_j\, X_{ij}$ el elemento máximo y mínimo de la columna correspondiente al criterio j.

3. Obtener el valor total de cada alternativa i, $u(a_i)$, mediante la función aditiva lineal:

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^{m} W_j u_{ij} \qquad i = 1,2,.....n \qquad (21)$$

Donde:

W_j = Peso del criterio j
n = Número de alternativas de decisión
m = Número de criterios

4. Clasificar las alternativas en orden descendente de su valor de $u(a_i)$, siendo la mejor la de valor máximo.

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

RESULTADOS

Lo primero ha sido aplicar el AHP para obtener los pesos de los 10 criterios, la matriz de comparaciones pareadas ha sido la siguiente:

Tabla 7
Matriz de comparaciones pareadas de los criterios de decisión

Factor	Per Rec	Inv MM$	Facil Rent	Se-gur	Serv	Plusv	Trafic	Ubic	Área Verde	Prox Trab
Per Recup	1	1	3	3	1	3	3	5	5	3
Invers MM$	1	1	3	3	1	3	3	5	5	3
Facil Renta	0.33	0.33	1	1	0.33	1	1	3	3	1
Segu-ridad	0.33	0.33	1	1	0.33	1	1	3	3	1
Serv	1	1	3	3	1	3	3	5	5	3
Plusv	0.33	0.33	1	1	0.33	1	1	3	3	1
Tráfic	0.33	0.33	1	1	0.33	1	1	3	3	1
Ubic	0.2	0.2	0.33	0.33	0.2	0.33	0.33	1	1	0.33
Área Verde	0.2	0.2	0.33	0.33	0.2	0.33	0.33	1	1	0.33
Prox Trab	0.33	0.33	1	1	0.33	1	1	3	3	1

Nota. Elaboración propia.

De aquí se procede a aplicar las operaciones matriciales descritas en la metodología del AHP, para llegar a los pesos de los criterios:

Tabla 8
Pesos de los criterios

Criterio	Peso
Periodos de Recuperación	0.1927
Inversión, MM$	0.1927
Facilidad de Renta	0.0726
Seguridad	0.0726
Servicios	0.1927
Plusvalía	0.0726
Tráfico	0.0726
Ubicación	0.0295
Áreas Verdes	0.0295
Proximidad al Trabajo	0.0726

Nota. Elaboración propia.

Al estimar la razón de consistencia, ésta ha sido de 0.0078, lo que indica que los resultados han sido consistentes.

En cuanto a las alternativas de decisión, éstas han sido cinco, ya que son las opciones con que cuenta el inversionista, la primera de ellas es un departamento situado en la Avenida García Diego (GD); las restantes son, una casa recién construida en el fraccionamiento Los Cabos en la delegación de Pozos, muy próximo a la zona industrial potosina (LC), otro

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

departamento ubicado en la zona dorada en el edificio Torre Diamante (TD) y otras dos casas situadas en el fraccionamiento Miravalle (MV) y en Villa Magna (VM).

El siguiente paso ha sido evaluar cada una de estas opciones en cada criterio, lo que genera la siguiente matriz de decisión:

Tabla 9
Matriz de decisión del caso

	Per Rec	Inv	Fac Rta	Segur	Serv	Pluv	Traf	Ubic	Ar Verdes	Prox Tr
GD	16.86	1.8	10	7	9	7	8	8	7	7
LC	23.47	2.9	9	7	8	7	7	8	8	10
TD	20.83	5	8	9	10	9	9	10	7	8
MV	20.96	7.3	8	10	10	9	9	10	9	8
VM	20.83	4	9	8	9	8	7	8	7	7

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla anterior, el primer criterio que es el número de periodos para recuperar la inversión está indicado en meses, mientras que el monto de inversión, que es el segundo criterio, está expresado en millones de pesos. Los restantes ocho criterios se han evaluado subjetivamente en una escala del 1 al 10.

Al aplicar la metodología de Moora, la matriz normalizada ponderada incluyendo las funciones de agregación Y_i de cada opción es la siguiente:

Tabla 10
Matriz normalizada ponderada con el ranking de las opciones

	Per Rec	Inv	Fac Rta	Segur	Serv	Pluv	Traf	Ubic	Ar Verdes	Prox Tr	Yi	Rank
GD	0.0702	0.0337	0.0368	0.0274	0.0840	0.0282	0.0323	0.0119	0.0121	0.0281	0.1570	1
LC	0.0977	0.0543	0.0331	0.0274	0.0747	0.0282	0.0282	0.0119	0.0138	0.0402	0.1056	3
TD	0.0867	0.0936	0.0294	0.0353	0.0934	0.0363	0.0363	0.0149	0.0121	0.0322	0.1095	2
MV	0.0873	0.1367	0.0294	0.0392	0.0934	0.0363	0.0363	0.0149	0.0155	0.0322	0.0732	5
VM	0.0867	0.0749	0.0331	0.0314	0.0840	0.0323	0.0282	0.0119	0.0121	0.0281	0.0995	4

Nota. Elaboración propia.

En la tabla se observa en su última columna, que la mejor opción de decisión ha sido la de García Diego (GD), seguida de Torre Diamante (TD). Con Topsis, se llega a la matriz normalizada ponderada:

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Tabla 11
Matriz normalizada ponderada

	Per Rec	Inv	Fac Rta	Segur	Serv	Pluv	Traf	Ubic	Ar Verdes	Prox Tr
GD	0.0702	0.0337	0.0368	0.0274	0.0840	0.0282	0.0323	0.0119	0.0121	0.0281
LC	0.0977	0.0543	0.0331	0.0274	0.0747	0.0282	0.0282	0.0119	0.0138	0.0402
TD	0.0867	0.0936	0.0294	0.0353	0.0934	0.0363	0.0363	0.0149	0.0121	0.0322
MV	0.0873	0.1367	0.0294	0.0392	0.0934	0.0363	0.0363	0.0149	0.0155	0.0322
VM	0.0867	0.0749	0.0331	0.0314	0.0840	0.0323	0.0282	0.0119	0.0121	0.0281
I +	0.0702	0.0337	0.0368	0.0392	0.0934	0.0363	0.0363	0.0149	0.0155	0.0402
I -	0.0977	0.1367	0.0294	0.0274	0.0747	0.0282	0.0282	0.0119	0.0121	0.0281

Nota. Elaboración propia.

Esta matriz incluye la distancia ideal (I^+) y anitideal (I^-) para cada criterio, la Tabla final con los valores de índices de similaridad D_i^+, así como el ranking de las opciones de decisión es:

Tabla 12
Índices de similaridad y ranking de las opciones

Opción de Decisión	Di +	Ranking
GD	0.8315	1
LC	0.6612	2
TD	0.4432	4
MV	0.2084	5
VM	0.5667	3

Nota. Elaboración propia.

La mejor opción ha sido la de García Diego (GD), que en este caso coincide con el resultado de Moora, seguida de Los Cabos (LC).

Al aplicar Electre, se llega a la siguiente matriz de dominancia agregada, incluyendo el resultado que viene siendo la diferencia para cada opción de alternativas que domina menos las que la dominan y con base en ello, obtener el ranking de clasificación de dichas opciones:

Tabla 13
Resultados con Electre

	GD	LC	TD	MV	VM	Resultado	Ranking
GD		1	0	0	1	2	2
LC	0		0	0	0	-3	5
TD	0	1		1	1	3	1
MV	0	0	0		0	-1	3
VM	0	1	0	0		-1	3

Nota. Elaboración propia.

Ahora la mejor opción ha resultado Torre Diamante (TD), seguida de García Diego (GD), lo cual difiere de Moora y Topsis. Posteriormente, al aplicar Smart, se obtiene lo siguiente:

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Tabla 14
Resultados con Smart

	Utilidad	Ranking
GD	59.07	2
LC	27.78	5
TD	59.75	1
MV	56.69	3
VM	38.57	4

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, la Tabla 15 presenta una síntesis de los rankings de los cuatro métodos aplicados:

Tabla 15
Resultados con los cuatro métodos

Opción	Moora	Topsis	Electre	Smart
GD	1	1	2	2
LC	3	2	5	5
TD	2	4	1	1
MV	5	5	3	3
VM	4	3	3	4

Nota. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La Tabla 15, muestra la diferencia de la clasificación de las opciones según el método que se haya aplicado, aunque es obvio, que las dos mejores han sido García Diego (GD) y Torre Diamante (TD), seguidos de Villa Magna (VM), Los Cabos (LC) y Miravalle (MV).

Si se presta atención a la Tabla 9 con la matriz de decisión que contiene las evaluaciones de las opciones en cada criterio, GD supera a las demás en los dos criterios cuantitativos, ya que es la inversión que requiere menor monto y se recupera en un plazo de tiempo más corto y al ser estos dos criterios los de mayor peso, dan este resultado. De hecho, si se hubiese aplicado cualquier técnica de evaluación de proyectos, como la tasa interna de retorno (TIR) o el valor actual neto (VAN) con el monto de inversión como gasto a tiempo cero y el ingreso por renta cada mes, la que sale mejor evaluada es GD.

Por otra parte, la inversión en TD, aun cuando requiere un monto de casi el triple respecto a GD, supera a esta en los criterios subjetivos, de modo que dos de los métodos la han dado como la mejor alternativa de decisión, siendo éstos Electre y Smart.

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Con esto, puede verse que los modelos de decisión multicriterio son de gran aplicación a multitud de casos en el ámbito administrativo, con la ventaja que pueden incluirse aspectos cualitativos y cuantitativos a juicio de quien va a tomar una decisión, como en este caso el inversionista referido. No sólo considera los aspectos cuantitativos, sino también los cualitativos, que en muchas metodologías no se toman en cuenta para la toma de decisiones, y que siempre juegan un rol importante en el decisor, las preferencias personales. De este modo, se ha ilustrado con este caso de estudio cómo la mejor decisión podría ser diferente a la que indican los métodos tradicionales de evaluación de proyectos.

REFERENCIAS

Brauers, W. K. y Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, *35*(2), 445-469. https://www.researchgate.net/publication/228345226_The_MOORA_method_and_its_application_to_privatization_in_a_transition_economy

Data México (2024). *Servicios Inmobiliarios y de Alquiler de Bienes Muebles e Intangibles. Publicado por el Gobierno de México*. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/real-estate-and-rental-and-leasing#:~:text=En%20el%20primer%20trimestre%20de%202024%2C%20Servicios%20Inmobiliarios%20y%20de,mismo%20periodo%20del%20a%C3%B1o%20anterior.

Edwards, W. (1977). How to Use Multiattribute Utility Measurement for Social Decision Making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *7*(5), 326-340. doi: 10.1109/TSMC.1977.4309720.

Aranda, D. (18 de enero de 2019). SLP, ciudad número 15 con una mayor plusvalía. *El Sol de San Luis*. https://www.elsoldesanluis.com.mx/local/slp-ciudad-numero-15-con-una-mayor-plusvalia-2937562.html#!.

Hernández, N. L. (5 de noviembre de 2022*).* Estos son los sitios más exclusivos para vivir en la capital de SLP, según AMPI*. El Universal San Luis Potosí*. https://sanluis.eluniversal.com.mx/economia-y-negocios/estos-son-los-sitios-mas-exclusivos-para-vivir-en-la-capital-de-slp-segun-ampi/.

García-Cascales, M. S., Lamata, M. T., y Sánchez-Lozano, J. M. (2011). Evaluation of photovoltaic cells in a multicriteria decision making process. *Annals of Operations Research*, *199*(1), 373-391. https://ideas.repec.org/a/spr/annopr/v199y2012i1p373-39110.1007-s10479-011-1009-x.html

Hwang, C. L. y Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag.

Izar-Landeta, J. M. (2022). *Modelos de decisión multicriterio en el ámbito administrativo.* Instituto Mexicano de Contadores Públicos.

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024

Lamudi (2024). *Reporte Inmobiliario 2023*. Lamudi. https://www.lamudi.com.mx/journal/reporte-inmobiliario-mexico-2023/.

Roy, B. (1968). Classement et choix en presence de points de vue multiples (la methode ELECTRE). *Revue Française d´Automatique d´Informatique et de Recherché Opérationnelle,* Recherche *Opérationnelle*, *2*(6), 57-75. http://www.numdam.org/item/RO_1968__2_1_57_0.pdf

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Mc Graw Hill.

SHF. (2024). *Índice SHF de precios de la vivienda en México, cuarto trimestre de 2023*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/shf/es/articulos/indice-shf-de-precios-de-la-vivienda-en-mexico-cuarto-trimestre-de-2023.

Wang, Y. M., y Luo, Y. (2009). On Rank reversal in decision analysis. *Mathematical and Computing Modelling*, *49*(5-6), 1221-1229. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717708002860

Zeleny, M. (1982). *Multiple criteria decision making*. McGraw Hill.

Fecha de Recibido: 25 de junio de 2024
Fecha de Aceptación: 4 de julio de 2024