

# Investigación

## Espacios métricos y métodos de decisión multicriterio

### Metric spaces and multi criteria decision making (MCDM)

Belén Muñoz-Medina, Manuel Romana

Revista de Investigación



Volumen IX, Número 1, pp. 041-054, ISSN 2174-0410

Recepción: 1 Nov'18; Aceptación: 15 Feb'19

1 de abril de 2019

#### Resumen

En el artículo se realiza una revisión de los criterios que son necesarios identificar en un problema de decisión para la inversión en una vivienda. Para ello, se utiliza el concepto de espacios métricos para la aplicación de una metodología que proporciona un ranking de alternativas a partir de medir la distancia de cada alternativa o posible solución a la solución ideal.

**Palabras Clave:** Método TOPSIS, solución ideal, métodos decisión multicriterio, distancia euclídea, vivienda.

#### Abstract

In the paper, a review of the criteria that are necessary to identify in decision problem for the investment in a residential property is made. For this, the concept of metric spaces is used for the application of a methodology that provides a ranking of alternatives from measuring the distance of each alternative or possible solution to the ideal solution.

**Keywords:** TOPSIS method, ideal solution, multicriteria decision making, euclidean distance, residential property.

## 1. Introducción

La vivienda no solo representa un activo inmobiliario en el que invierten empresas y familias, sino que tiene un significado más social e importante. Para las familias, supone el lugar donde construir un hogar y para las empresas un activo inmovilizado del que esperan obtener una rentabilidad. En este sentido, el artículo 47 de la Constitución Española recoge la importancia a la que nos referimos: "Todos los españoles tienen derecho a disfrutar de una

vivienda digna y adecuada. Los poderes públicos promoverán las condiciones necesarias y establecerán las normas pertinentes para hacer efectivo este derecho, regulando la utilización del suelo de acuerdo con el interés general para impedir la especulación. La comunidad participará en las plusvalías que genere la acción urbanística de los entes públicos”.

Durante la última década, tras la crisis financiera e inmobiliaria, iniciada internacionalmente con el problema de las hipotecas *subprime*, se ha producido una grave recesión en el sector inmobiliario en España que ha provocado un importante ajuste en el sector, con caídas en el precio de la vivienda de hasta el 50% en algunas zonas. Sin embargo, en los dos últimos años, se está empezando a producir una ligera recuperación, convirtiéndose de nuevo la vivienda en un activo muy atractivo para la inversión con valores de rentabilidad bruta por alquiler según los datos del Banco de España del 4,3% en 2017, valores superiores a la inflación. En este sentido, hay numerosos informes de empresas especializadas en inversión que avalan estos datos, [1], [2], [3].

De esta forma la demanda de viviendas encadena más de 3 años consecutivos de crecimiento, debido a tres factores principales: el crecimiento económico y del empleo, financiación barata y rentabilidad de la inversión. Primero, el crecimiento económico también se refleja en el mercado laboral, con un crecimiento del PIB de +3,2% y +2,8% en 2017 y 2018 respectivamente, por lo cual, el empleo se está beneficiando de este ciclo de recuperación de forma que la tasa de paro terminará el año 2018 en el umbral del 15%. Segundo, financiación barata, los tipos de interés de los préstamos hipotecarios son muy bajos. Tercero, rentabilidad de la inversión en vivienda, con el escenario de tipos de interés cercanos a 0% en los depósitos y la renta fija a corto y medio plazo, se seguirá impulsando la demanda de vivienda como bien de inversión, con una rentabilidad bruta por alquiler según los datos del Banco de España del 4,3% actual. Ante esto, la inversión en vivienda constituye, junto a la renta variable, la única alternativa de inversión que ofrece retornos superiores a la inflación, [3].

En este artículo se propone una metodología de decisión, basada en el método TOPSIS (*technique for order preference by similarity to ideal solution*) para determinar la mejor solución a la hora de comprar una vivienda. Como se verá, este método proporciona el principio de compromiso de que la alternativa elegida debería tener “la distancia más corta desde la solución ideal positiva (*positive ideal solution - PIS*)” y “la distancia más alejada de la solución ideal negativa (*negative ideal solution - NIS*)”, [4].

## 2. Medidas de distancia y expresión matemática

Sea  $X$  un conjunto. Se dice que  $d : X \times X \rightarrow \mathbf{R}$  define una distancia (o métrica) en  $X$  si se cumplen las propiedades:

1.  $d(x, y) \geq 0$ , siendo  $d(x, y) = 0 \leftrightarrow x = y$
2.  $d(x, y) = d(y, x)$
3.  $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$  Desigualdad triangular

En estas condiciones, se dice que el par  $(X; d)$  es un espacio métrico.

La distancia más común en  $\mathbf{R}$  es la definida por  $d(x, y) = |x - y|$  y se llama distancia usual.

De igual forma, podemos definir para  $n$  variables, la distancia euclídea entre dos puntos  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  y  $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ , como el módulo del vector que une ambos puntos:

$$de(A; B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (bi - ai)^2} \quad (1)$$

Igualmente, podemos definir para  $n$  variables, la distancia Manhattan o ciudad,  $d_M$ , y la distancia Minkowski,  $d_m$ , entre dos puntos como:

$$dM(A; B) = \sum_{i=1}^n (bi - ai) \quad (2)$$

$$d_m(A; B) = (\sum_{i=1}^n (bi - ai)^m)^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

Por contra, una medida de similitud mide "lo cercanos" que están dos puntos. Se dice que una similitud es una aplicación  $s : R^n \times R^n \rightarrow R$  si se cumplen las propiedades:

1.  $0 \leq s(A, B) \leq 1, \forall i, j$
2.  $s(A, B) = 1, \leftrightarrow A = B$
3.  $s(A, B) = s(B, A)$ .

### 3. Medidas de distancia y métodos de decisión multicriterio

Los métodos de decisión son herramientas que ayudan a la toma de decisión, especialmente en aquellos casos en los cuales tenemos criterios en conflicto. Se denominan métodos decisión multicriterios discretos cuando tenemos un número finito de criterios y de alternativas. En un problema de decisión siempre intervienen varios elementos: Criterios de decisión  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , condiciones que permiten discriminar alternativas y establecer preferencias del decisor; Pesos, o medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor, cada vector de criterio lleva asociado un vector de pesos  $[w] = [w_1, \dots, w_n]$ , los pesos se pueden establecer por el método de asignación directa o por el método del autovector; Alternativas, diferentes soluciones a adoptar en un problema de decisión, y se designan como,  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , donde  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) son cada una de las alternativas posibles; Y por último la matriz de valoración o decisión, en la cual, para cada uno de los criterios considerados y para cada alternativa del conjunto de elección, el decisor es capaz de dar un valor numérico o simbólico  $a_{ij}$  que expresa una evaluación o juicio de la alternativa  $A_i$  respecto al criterio  $C_j$ .

Varios métodos decisión utilizan el concepto de distancia para determinar la mejor solución o ranking de soluciones, el cual proporciona un conjunto de soluciones ordenadas de mejor alternativa a peor, teniendo en cuenta las preferencias del decisor a través de la ponderación de los criterios [5], [6]. Uno de los más conocidos y utilizados es TOPSIS, [7].

El método TOPSIS fue desarrollado por Hwang y Yoon en el año 1981, [8], es un método de decisión multicriterio que determina una clasificación de las diferentes alternativas de acuerdo a la distancia de las mismas a la solución ideal, entendiéndose ésta como aquella que se construye de manera irreal como combinación de las diferentes alternativa que mejor se "comporta" de para cada criterio. Es decir, se denomina alternativa ideal a la alternativa  $A^+ = \{A_1^+, A_2^+, \dots, A_n^+\}$ , donde  $A_i^+ = \text{Max}_i X_{ij}$ , para el caso de criterios de beneficio y  $A_i^+ = \text{Min}_i X_{ij}$ , para el caso de criterios de coste. De igual forma, la solución no ideal o anti-ideal será  $A^- = \{A_1^-, A_2^-, \dots, A_n^-\}$ , donde  $A_i^- = \text{Min}_i X_{ij}$ , para el caso de criterios de beneficio y  $A_i^- = \text{Max}_i X_{ij}$ , para el caso de criterios de coste.

Los pasos del método TOPSIS se pueden resumir en los siguientes:

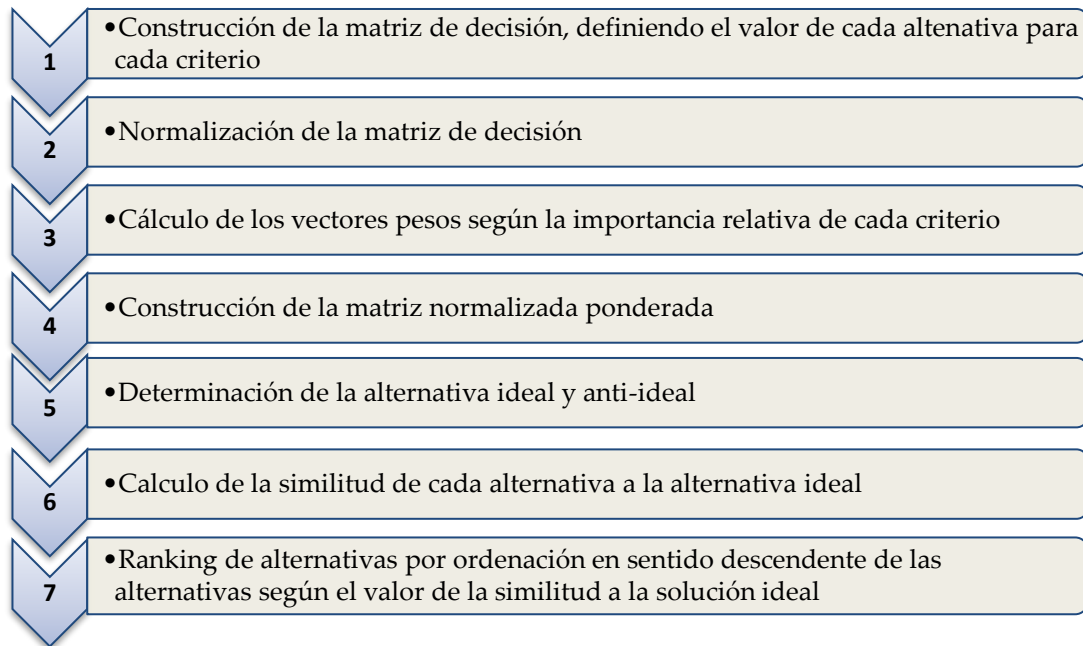


Figura 1: Pasos para la aplicación del Método TOPSIS. Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción de la matriz de decisión se valorará cada alternativa según los diferentes criterios, obteniendo una matriz en la cual cada elemento es el valor de cada alternativa para cada criterio.

Para la normalización de la matriz de decisión está demostrado que, para el método TOPSIS, es mejor utilizar el método del vector de normalización que permite aplicar la metodología a cualquier problema de decisión de forma más eficaz, independientemente del tipo de criterio y rango de los datos, [9], para ello:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (4)$$

Donde,  $x_{ij}$ , es cada elemento de la matriz de decisión, y  $a_{ij}$ , son los elementos de la matriz de decisión normalizada.

A la hora de determinar el peso de cada criterio, y de esta forma establecer las preferencias del decisor, se puede realizar de dos formas, por asignación directa o través de otros métodos en los que la subjetividad del decisor se intenta minimizar como el método de AHP (*Analytic Hierarchy Process*), que determina la importancia relativa y el peso de cada criterio a través de comparaciones pareadas a través de la escala de Saaty [10].

Hay que recordar que el método AHP permite tener un nivel aceptable de confianza sobre que el proceso de decisión, que este se ha aplicado de forma correcta y medir la inconsistencia global de los juicios emitidos, mediante la Proporción de Consistencia, que se expresa como el cociente entre el Índice de Consistencia y el Índice Aleatorio, el cual debe ser inferior al 10%. El Índice de Consistencia mide la consistencia de la matriz de comparaciones.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Donde  $\lambda_{\max}$  es el mayor valor propio de la matriz traspuesta de la matriz de comparaciones pareadas, y  $n$  el rango de la matriz. Mientras que el Índice Aleatorio es un índice de consistencia de una matriz aleatoria:

Tabla 1: Índice aleatorio método AHP.

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

En el presente artículo se utilizan ambos métodos de asignación de pesos. Los criterios se han agrupado en tres grandes grupos, incluyéndose dentro de cada grupo varios subcriterios, de manera que para la asignación de pesos a cada grupo de criterios se ha aplicado el método AHP y, a su vez, dentro de cada grupo, el peso asignado a cada subcriterio se realiza de forma directa, asignándole el mismo peso a todos.

Según se ha indicado en la figura 1, el siguiente paso será determinar la alternativa ideal y la alternativa anti-ideal, como se ha comentado con anterioridad. Por último, se determinarán las distancias de cada alternativa de la matriz de decisión a la solución ideal y a la solución anti-ideal, y la similitud a la solución ideal, la cual nos permite obtener la clasificación o ranking de alternativas a través de la ordenación de las mismas según dicho valor. Para el cálculo de estas distancias se aplica la definición de la distancia euclídea  $m$ -multidimensional, obteniéndose las siguientes ecuaciones:

Distancia a la alternativa o solución ideal:

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Donde,  $v_{ij}$  es cada elemento de la matriz de decisión normalizada y ponderada por el peso de cada criterio y subcriterio, y  $v_j^+$ , es cada elemento del vector de la alternativa ideal normalizado y ponderado.

Igualmente, la distancia a la solución anti-ideal se calcula como:

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

Expresándose la similitud de la siguiente forma:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ - d_i^-} \quad (8)$$

De manera que si,  $R_i = 1$ , obtenemos la alternativa ideal, y por el contrario si es igual 0, estamos ante la solución anti-ideal. Finalmente, ordenando las alternativas en sentido descendente mente según el valor de  $R_i$ , obtenemos la clasificación de las mejores alternativas.

#### 4. Alternativas y criterios en inversiones inmobiliarias

Para resolver un problema de decisión de forma adecuada y de esta forma obtener las mejores soluciones entre todas las posibles, en primer lugar, antes de la aplicación de cualquier metodología, hay que definir los objetivos a lograr. Y una vez definidos los objetivos, identificar las posibles alternativas que resuelven el problema y, por último, los criterios o atributos, que son las condiciones o parámetros que permiten discriminar alternativas y establecer las preferencias del decisor.

Para determinar las alternativas posibles en problema de decisión de inversión en un activo inmobiliario hay que delimitar el ámbito geográfico de selección y el tipo de inmueble. En cuanto a los criterios dependerán de las preferencias del decisor. Para este trabajo se han seleccionado tres grupos de criterios: económicos, calidad de vida, medioambientales y de salud.

En cuanto a los criterios económicos de selección, se suelen utilizar dos ratios universalmente conocidos y aceptados. El primero de ellos es la rentabilidad bruta por alquiler que es el porcentaje resultante de dividir el dinero anual que obtenemos por una vivienda en alquiler entre su precio de venta. El segundo es el denominado PER (*Price Earnings Ratio*), equivale al número de veces que el precio de alquiler está contenido en el precio de venta o al número de años que tardaría en pagar el precio de una vivienda mediante el alquiler en las condiciones actuales, es un ratio universalmente aceptado para valorar activos como empresas, viviendas, etc., de manera que cuanto más bajo sea el PER de una vivienda respecto a la media mejor será comprarla, mientras que cuanto más alto sea, será mejor vivir en ella de alquiler [11]. Para el presente estudio consideramos el PER como criterio económico y la selección se realiza para compra, por lo cual, el valor más bajo del PER de todas las alternativas, será el valor del alternativa ideal.

Como criterios de calidad de vida se consideran criterios del tipo: número de plazas de colegios, plazas de aparcamiento disponibles, bibliotecas y centros culturales, instalaciones deportivas, zonas comerciales y seguridad ciudadana. Y por último como criterios medioambientales y de salud se definen criterios como: números de centros sanitarios, valores de contaminación y zonas verdes y jardines disponibles en la zona. Según esto el cuadro de criterios seleccionados queda como sigue:

Tabla 2: Criterios de decisión. Fuente: elaboración propia

<i>Criterio</i>	<i>Subcriterio</i>	<i>Objetivo</i>
<b>Económico</b>	PER - <i>Price Earnings Ratio</i>	Mínimo (compra)
<b>Calidad de vida</b>	Número de plazas colegios/1.000 hab.	Máximo
	Plazas aparcamiento residentes/1.000 hab	Máximo

	Bibliotecas (puestos lectura)/1.000 hab	Máximo
	Instalaciones deportivas (m <sup>2</sup> )/1.000 hab	Máximo
	Zonas comerciales (m <sup>2</sup> )/1.000 hab	Máximo
	Seguridad ciudadana (número de incidentes)	Mínimo
Medioambientales y de salud	Centros de salud/1.000 hab	Máximo
	Calidad del aire (valores medios de emisiones de NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> )	Mínimo
	Zonas verdes (Ha)/1.000 hab	Máximo

## 5. Caso de estudio: Ciudad de Madrid

La metodología descrita anteriormente se ha aplicado a la ciudad de Madrid, de manera que se trata de determinar el ranking de alternativas de las mejores soluciones para la compra de una vivienda considerando como alternativas todos los distritos de Madrid. La metodología se ha aplicado para dos escenarios diferentes, el primero de ellos el decisor será una familia mientras que en el segundo escenario se considera como decisor una empresa de inversión inmobiliaria, esto determina que la importancia relativa de los diferentes criterios es relativa.

Madrid, capital del Reino de España desde el año 1561, se encuentra dividida en 21 distritos: Arganzuela, Barajas, Carabanchel, Centro, Chamartín, Chamberí, Ciudad Lineal, Fuencarral-El Pardo, Hortaleza, Latina, Moncloa-Aravaca, Moratalaz, Puente de Vallecas, Retiro, Salamanca, San Blas, Tetuán, Usera, Vicálvaro, Villa de Vallecas y Villaverde.



Figura 2: Mapa de los distritos de Madrid. Fuente: Página web del Ayuntamiento de Madrid

Para la valoración de las diferentes alternativas se ha partido de los datos disponibles en el Ayuntamiento de Madrid y distribuidos por distritos, [12], quedando la matriz de decisión así:

Tabla 3: Matriz de decisión. Fuente: elaboración propia.

	Económicos PER (Price Earnings Ratio)	Calidad de vida										Medioambientales y de salud			
		Numero de plazas colegios/1.000 hab.	Plazas aparcamiento residentes/1.000 hab.	Bibliotecas (puestos lectura)/1.000 hab.	Instalaciones deportivas (m2)/1.000 hab.	Zonas comerciales (m2)/1.000 hab.	Seguridad ciudadana (incidentes)	Centros de salud/1.000 hab	Calidad del aire (valores medios de NO2)	Zonas verdes (ha)/1.000 hab					
01. Centro	20,171	118,489	31,919	4,298	83,894	2,381	0,045	46	0,340						
02. Arganzuela	20,143	113,677	30,481	1,066	31,711	672	0,066	38	0,854						
03. Retiro	22,814	140,960	77,390	1,561	28,832	331	0,034	44,5	1,301						
04. Salamanca	24,680	133,331	82,816	0,529	51,509	864	0,049	38	0,302						
05. Chamartín	23,920	254,553	46,178	1,625	39,791	572	0,056	44	0,391						
06. Tetuán	17,162	82,334	36,771	1,782	40,543	488	0,052	43	0,425						
07. Chamberí	23,445	150,356	59,570	0,000	49,519	493	0,058	38	0,083						
08. Fuencarral-El Pardo	22,042	187,844	27,375	0,854	22,441	288	0,050	39	2,487						
09. Moncloa-Aravaca	22,044	236,008	48,596	0,000	32,968	336	0,077	46	16,230						
10. Latina	14,580	146,171	23,053	1,835	25,594	441	0,064	46	1,245						
11. Carabanchel	13,699	141,276	20,914	2,074	32,062	1,247	0,037	39	1,009						
12. Usera	12,611	164,566	9,978	0,898	27,643	857	0,059	56	1,446						
13. Puente de Vallecas	11,674	157,666	3,388	1,454	26,824	820	0,070	40	1,349						
14. Moratalaz	17,347	162,075	72,242	2,739	21,030	141	0,053	38	1,909						
15. Ciudad Lineal	17,597	144,832	32,038	1,943	33,083	500	0,047	38	0,617						
16. Hortaleza	20,375	192,910	21,284	1,646	20,758	242	0,044	34	4,140						
17. Villaverde	11,650	159,157	7,959	0,000	30,959	503	0,056	43	1,521						
18. Villa de Vallecas	18,072	155,859	9,519	1,877	32,091	405	0,048	39	2,729						
19. Vicálvaro	16,313	171,960	12,091	4,268	19,700	227	0,043	40	2,321						
20. San Blas-Camillejas	18,194	158,833	9,828	2,961	25,480	271	0,039	40	1,182						
21. Barajas	20,444	183,612	4,501	2,581	30,613	209	0,064	42	5,951						



Una vez determinada la matriz de decisión, se deben normalizar los valores de la misma, aplicando la ecuación (4). Para la ponderación de la matriz, se aplica el método AHP para determinar el peso de cada grupo de criterios, y dentro de cada grupo, a cada subcriterio se le da el mismo peso. Para el escenario de que el inversor sea una familia, y aplicando el método AHP para determinar el vector de pesos para cada grupo de criterios obtenemos la siguiente matriz de comparaciones pareadas:

Tabla 4: Matriz de comparaciones pareadas, escenario familia, método AHP. Fuente: elaboración propia.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 \\ 3 & 1 & 2 \\ 3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

Obteniéndose el vector de pesos  $W = [0.137; 0.465; 0.398]$ . Por último, y por aplicación de las ecuaciones (6), (7) y (8) obtenemos los siguientes valores de similitud de cada alternativa a la solución ideal (tabla 5) y el siguiente ranking de alternativas (tabla 6):

Tabla 5: Tabla de valores de similitud a la solución ideal, escenario familia. Fuente: elaboración propia.

01. Centro	0,2693
02. Arganzuela	0,2794
03. Retiro	0,3312
04. Salamanca	0,2908
05. Chamartín	0,2947
06. Tetuán	0,2899
07. Chamberí	0,2935
08. Fuencarral-El Pardo	0,3313
09. Moncloa-Aravaca	0,7191
10. Latina	0,3255
11. Carabanchel	0,2457
12. Usera	0,3004
13. Puente de Vallecas	0,3058
14. Moratalaz	0,4181
15. Ciudad Lineal	0,2930
16. Hortaleza	0,3889
17. Villaverde	0,3031
18. Villa de Vallecas	0,3384
19. Vicálvaro	0,3879
20. San Blas-Canillejas	0,3253
21. Barajas	0,4491

Tabla 6: Ranking de alternativas para inversión en compra de viviendas, escenario familia. Fuente: elaboración propia.

09. Moncloa-Aravaca	1
21. Barajas	2
14. Moratalaz	3
16. Hortaleza	4
19. Vicálvaro	5
18. Villa de Vallecas	6
08. Fuencarral-El Pardo	7
03. Retiro	8
10. Latina	9
20. San Blas-Canillejas	10
13. Puente de Vallecas	11
17. Villaverde	12
12. Usera	13
05. Chamartín	14
07. Chamberí	15
15. Ciudad Lineal	16
04. Salamanca	17
06. Tetuán	18
02. Arganzuela	19
01. Centro	20
11. Carabanchel	21

Gráficamente:



Figura 3: Gráfico ranking de alternativas, escenario familia. Fuente: elaboración propia.

De igual forma se procede para el escenario de que el decisor sea una empresa de inversión inmobiliaria, para ello se aplica el método AHP para determinar el peso de cada grupo, dando una mayor importancia relativa al criterio económico. Se determina el vector de pesos para cada grupo de criterios obteniéndose la siguiente matriz de comparaciones pareadas:

Tabla 7: Matriz de comparaciones pareadas, escenario empresa método AHP. Fuente: elaboración propia.

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

Obteniéndose el vector de pesos  $W = [0.562; 0.289; 0.149]$ . Por último, y por aplicación de las ecuaciones (6), (7) y (8) obtenemos los siguientes valores de similitud de cada alternativa a la solución ideal (tabla 8) y el siguiente ranking de alternativas (tabla 9):

Tabla 8: Tabla de valores de similitud a la solución ideal, escenario empresa. Fuente: elaboración propia.

01. Centro	0,3388
02. Arganzuela	0,3448
03. Retiro	0,3053
04. Salamanca	0,2417
05. Chamartín	0,2548
06. Tetuán	0,4720
07. Chamberí	0,2623
08. Fuencarral-El Pardo	0,3106
09. Moncloa-Aravaca	0,4494
10. Latina	0,5792
11. Carabanchel	0,5719
12. Usera	0,6152
13. Puente de Vallecas	0,6285
14. Moratalaz	0,5408
15. Ciudad Lineal	0,4589
16. Hortaleza	0,3916
17. Villaverde	0,6223
18. Villa de Vallecas	0,4602
19. Vicálvaro	0,5532
20. San Blas-Canillejas	0,4532
21. Barajas	0,4087

Tabla 9: Ranking de alternativas para inversión en compra de viviendas, escenario empresa. Fuente: elaboración propia.

13. Puente de Vallecas	1
17. Villaverde	2
12. Usera	3
10. Latina	4
11. Carabanchel	5
19. Vicálvaro	6
14. Moratalaz	7
06. Tetuán	8
18. Villa de Vallecas	9
15. Ciudad Lineal	10
20. San Blas-Canillejas	11
09. Moncloa-Aravaca	12
21. Barajas	13
16. Hortaleza	14
02. Arganzuela	15
01. Centro	16
08. Fuencarral-El Pardo	17
03. Retiro	18
07. Chamberí	19
05. Chamartín	20
04. Salamanca	21

Gráficamente:



Figura 4: Gráfico ranking de alternativas, escenario empresa. Fuente: elaboración propia.

## 6. Conclusiones

La metodología aplicada permite tener en cuenta las prioridades y preferencias del decisor. De esta forma, en el escenario de una empresa se obtienen como mejores alternativas aquellas que tienen un PER más bajo, por lo cual, permiten recuperar más rápidamente, a través del alquiler, la inversión. Sin embargo, en el escenario de una familia, en el cual se da mayor importancia a criterios no económicos, y que en ocasiones pueden estar en conflicto, se obtiene un ranking de alternativas que tienen en cuenta las preferencias del decisor.

El método de decisión propuesto se basa en un conjunto reducido de datos de simple obtención, tanto por inversores particulares como por empresas, lo cual, facilita su aplicación para el análisis de la inversión. El método propuesto es aplicable y con resultados admisibles (soluciones robustas) tanto a casos con criterios con importancia relativa muy diferente como a inversiones en las que la precedencia de los criterios es clara pero las diferencias en la ponderación no tanto.

## Referencias

- [1] BBVA Research. BBVA Research. UNIDAD DE ESPAÑA Y PORTUGAL & UNIDAD DE REAL ESTATE, «Situación Inmobiliaria España,» 2017.
- [2] INSTITUTO DE ESTUDIOS ECONOMICOS, «El Sector Inmobiliario en España,» 2017.
- [3] BANKINTER, «Informe semestral del mercado inmobiliario en España,» 2017.
- [4] C.-L. HWANG, Y.-J. LAI y T.-Y. LIU, «A new approach for multiple objective decision making,» *Computers Ops. Res.*, vol. 20, nº 8, pp. 889-899, 1993.
- [5] S. Opricovic y G.-H. Tzeng, «Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS,» *European Journal of Operational Research*, p. 445–455, 2004.
- [6] J. R. San Cristóbal, «Contractor Selection Using Multicriteria Decision-Making Methods,» *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 138, nº 6, pp. 751-758, Junio 2012.
- [7] P. N. Tran y N. Boukhatem, «The Distance to the Ideal Alternative (DiA) Algorithm for Interface Selection in Heterogeneous Wireless Networks,» de *MobiWac'08*, Vancouver, Canadá, 2008.
- [8] C. Hwang y K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making*, Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 1981.

- [9] Y. P. Liao , L. Liu y C. Xing, «Investigation of Different Normalization Methods for TOPSIS.» *Transactions of Beijing Institute of Technology*, vol. 32, nº 5, pp. 871-875, 2012.
- [10] T. Saaty, «How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process,» *Interfaces* 24, pp. 19-43, 1994.
- [11] Bankinter, S.A., «<https://blog.bankinter.com/economia/-/noticia/2015/12/10/valoracion-inmuebles-pisos-baratos-caros>».
- [12] Ayuntamiento de Madrid, «<http://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Estadistica/Distritos-en-cifras/Distritos-en-cifras-Informacion-de-Distritos-?vgnextfmt=default&vgnextoid=74b33ece5284c310VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnextchannel=27002d05cb71b310VgnVCM10000>».

**Sobre los autores:**

*Nombre:* Belén Muñoz Medina

*Correo Electrónico:* mariabelen.munoz@upm.es

*Institución:* ETSI Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, España.

*Nombre:* Manuel Romana García

*Correo Electrónico:* manuel.romana@upm.es

*Institución:* ETSI Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, España.