



FACULTAD
DE CIENCIAS
ECONÓMICAS



Universidad
Nacional
de Córdoba

REPOSITORIO DIGITAL UNIVERSITARIO (RDU-UNC)

Un enfoque de decisión multicriterio difuso aplicado a un problema de selección en el sector de la construcción

Raúl A. Ercole, Claudia Etna Carignano, Catalina Lucía Alberto

Artículo publicado en Revista de Ciencias Empresariales
Volumen 2, Número 2, 2016 – ISSN 2468-9785 / e-ISSN 2468-9807



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual
4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

UN ENFOQUE DE DECISIÓN MULTICRITERIO DIFUSO APLICADO A UN PROBLEMA DE SELECCIÓN EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

A DIFFUSE MULTICRITERIO DECISION APPROACH APPLIED TO A SELECTION PROBLEM IN THE CONSTRUCTION SECTOR

CLAUDIA ETNA CARIGNANO¹, CATALINA LUCIA ALBERTO², RAÚL
ERCOLE³.

RECIBIDO: 10/02/2016 | ACEPTADO: 06/08/2016

RESUMEN

El trabajo propone un modelo de decisión multicriterio TOPSIS en un entorno difuso para resolver un problema de localización de un barrio privado en el cual el decisor se enfrenta con estimaciones de los datos de entrada expresados como preferencias cualitativas.

ABSTRACT: The paper proposes a model of multi-criteria decision in a fuzzy TOPSIS to solve a problem locating a private neighborhood. Some selection criterial have uncertain data decider difficult to make their judgments in numerical form.

PALABRAS CLAVE: TOPSIS. Variables lingüísticas.
Emprendimiento inmobiliario.

KEY WORDS: *TOPSIS. Linguistic variables. Construction development.*

¹ Magíster en Planificación y Gestión Educacional. Profesora Titular de Investigación Operativa. Universidad Tecnológica Nacional. Córdoba, Argentina. Correo: claudiacarignano@gmail.com

² Doctora en Ciencias Económicas. Profesora Titular de Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. Correo: Catalina.alberto@gmail.com

³ Lic. Administración y Contador Público. Profesor Titular de Costos y Gestión. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. Correo: raul0124@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Decidir correctamente la localización de un barrio privado es, indudablemente, uno de los aspectos fundamentales del éxito o fracaso de un proyecto de esta naturaleza. Su importancia radica en las características de decisión a largo plazo con carácter permanente y costosa ejecución. El emplazamiento más adecuado debe contemplar los requisitos que los futuros inversores considerarán al momento de su elección, y en este sentido existen numerosos artículos periodísticos que proponen criterios a considerar para una correcta selección ⁴.

Sin lugar a dudas podemos decir que la evaluación económica no es el único factor que debe ser tomado en consideración, existen otros tales como disponibilidad de servicios de infraestructura -red cloacal, instalaciones subterráneas, etcétera-, cercanía a áreas urbanas de servicios que complementen los que se ofrecerán dentro de la urbanización, como los centros de compras y todo lo que necesite para el abastecimiento diario, vías de acceso al barrio, impacto ambiental, entre otros. Visto de esta manera se trata de un problema complejo en el cual se deben considerar diversos aspectos al momento de tomar la decisión.

El análisis multicriterio de apoyo a las decisiones (Chen et al. 1992; Autran Gomez et al. 2004) ha demostrado ser una poderosa herramienta para la evaluación de proyectos de naturaleza compleja y sus métodos se han aplicado con mayor o menor éxito en función del problema específico. Sin embargo, la principal dificultad en su aplicación surge cuando las estimaciones de los datos de

entrada se expresan como preferencias cualitativas.

En numerosas oportunidades, cuando se realizan consultas, los individuos que participan tienen dificultad para expresar con un valor numérico exacto el grado de preferencia de una alternativa a otra o la importancia que le asignan a los criterios con los que serán evaluadas. Bajo tales circunstancias, una aproximación más realista consiste en expresar las opiniones de los expertos por medio de sentencias o valores lingüísticos tales como "Muy Bueno", "Bueno", "Relevante", "Muy Relevante", etc. Esta información debe ser interpretada y expresada cuantitativamente, tarea que no resulta fácil para los que no están familiarizados con el problema y el método utilizado para su solución. En estos casos es una elección un tanto natural utilizar modelos que incorporan información cualitativa, descriptiva o lingüística.

Una variable lingüística es aquella cuyos valores son palabras o sentencias y se utilizan cuando las variables involucradas son de carácter cualitativo (Zadeh, 1975; Bonissone y Decker, 1986). De ese modo, es posible modelar adecuadamente situaciones en las cuales la información provista por el decisor es imprecisa. Este tipo de variable admite que sus valores sean etiquetas. Cada etiqueta es un término que se define como un conjunto difuso o borroso. La cantidad de etiquetas, que pueden ser tantas como el experto lo considere necesario, conforman el dominio y determinan la granularidad o poder de discriminación de la variable.

De esta manera es lógico pensar en seleccionar, como herramienta de análisis para el problema planteado, un método multicriterio que permita trabajar tanto con entradas reales como difusas. En este sentido son numerosas las propuestas que se encuentran en la literatura. Jato et

⁴ *La Voz del Interior*. <http://www.lavoz.com.ar/node/1026829>
La Nación <http://www.lanacion.com.ar/1289370-claves-a-la-hora-de-elegir>.

al. 2014, realizan un relevamiento de 88 trabajos de investigación relacionados a la aplicación de métodos multicriterio para la toma de decisiones en la industria de la construcción entre 1992 y 2013. El objetivo de ese análisis fue ofrecer una visión general de los beneficios de la aplicación de estas técnicas con el fin de demostrar la versatilidad de los métodos en situaciones muy diferentes. En el estudio se destaca que en el 43.18% de los casos analizados se aplican enfoques híbridos, esto es, combinación de diferentes técnicas multicriterio con conjuntos difusos o modelos de simulación.

En nuestro caso, proponemos resolver el problema de selección de lote para la construcción de un barrio privado enfocándonos en esta línea de investigación. Estamos convencidos que un modelo híbrido que combine las ventajas de la técnica multicriterio TOPSIS (Yoon et al. 1995) y la versatilidad para modelar información cualitativa de las variables lingüísticas, es una herramienta valiosa en la evaluación de alternativas de decisión en ambientes inciertos.

Específicamente, planteamos una modificación del modelo presentado por Chen-Tung Chen (2000) en la que se considerarán etiquetas lingüísticas para aquellos aspectos que se evalúan cualitativamente, y entradas reales para los aspectos cuantitativos.

2. EL MODELO

Los problemas de toma de decisión se centran en el proceso de encontrar la mejor alternativa entre varias factibles. Dichas alternativas son las distintas acciones que podrá encarar el decisor y se simbolizan como el conjunto A de m elementos:

$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix}$$

Estas acciones serán elegidas luego de analizada la información del proceso decisorio y tenido en cuenta las variables endógenas y exógenas que hacen a la situación. De hecho, para la elección de las acciones se operará con un modelo que respete los objetivos organizacionales. El decisor evaluará las distintas alternativas a partir de varios criterios. Se está en presencia, consecuentemente, de un modelo decisorio multicriterio.

Los criterios que se tomarán en cuenta para guiar el proceso decisorio forman el conjunto C de n elementos:

$$C = [C_1, C_2, \dots, C_n]$$

La calificación que cada decisor brinda a cada una de las alternativas para cada uno de los criterios, forma la matriz X, en la que cada elemento [x_{ij}] representa preferencia de la alternativa i respecto al criterio j (i=1,...,m; j=1,...,n)

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Los criterios seguramente no tendrán la misma relevancia entre sí dentro de un proceso decisorio y por ello se asocia a los mismos un peso o ponderación formando el conjunto W de n elementos:

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$

La técnica multicriterio TOPSIS es un método compensatorio, cuyo objetivo es la ordenación de un conjunto finito de alternativas. Se basa en el concepto que es

deseable que una alternativa determinada se ubique a la distancia más corta respecto de una solución ideal positiva y a la mayor distancia respecto a una solución ideal negativa. En consecuencia, desde el punto de vista de la racionalidad de la conducta humana, consiste en ubicarse lo más cerca posible de tal solución ideal y en alejarse lo más posible de una solución anti ideal o ideal negativa. A fin de lograr la ordenación define un índice de similaridad (o proximidad relativa) respecto a la solución ideal positiva combinando la proximidad a la solución ideal positiva y la lejanía respecto a la solución ideal negativa. Se selecciona aquella alternativa que se ubica lo más lejos posible a la máxima similaridad respecto a la solución ideal negativa, es decir aquella cuyo índice de similaridad esté más próximo a 1.

En este trabajo, se modifica el método TOPSIS tradicional a una situación en la que se pueden usar variables lingüísticas tanto en el peso o ponderación de los criterios como en la evaluación de algunas de las alternativas, juntamente con variables cuantitativas o reales, lo que sin duda brinda mayor flexibilidad al proceso de decisión. Los valores de estas variables lingüísticas son etiquetas y cada una de ellas se define como un conjunto borroso o difuso.

Un *conjunto borroso o difuso* \tilde{A} en un universo X se caracteriza a través de la función $\mu_{\tilde{A}}(x)$ que asocia a cada elemento x en X , un número real en el intervalo $[0,1]$. Además, el valor de la función $\mu_{\tilde{A}}(x)$ representa el grado de pertenencia de x en \tilde{A} . De acuerdo a las definiciones usuales, un número borroso es un subconjunto borroso en el universo X que es convexo y normal.

Los números difusos más utilizados por su simplicidad son los triangulares. Un número borroso triangular se define con 3 elementos (a, b, c) y con una función de

pertenencia $i_A(x)$ del tipo:

$$i_A(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & \text{si } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{si } a \leq x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c}, & \text{si } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{si } x > c \\ 1, & \text{si } x = b \end{array} \right\} \quad (1)$$

Gráficamente,

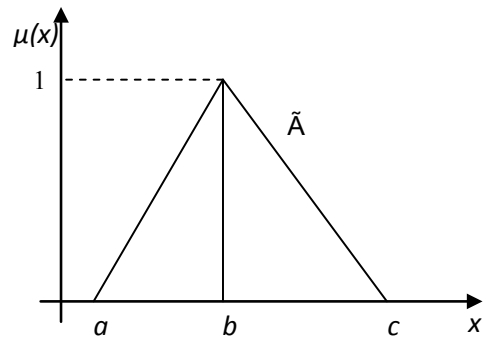


Gráfico 1

Por ejemplo, las etiquetas correspondientes al peso o importancia de los criterios y sus números borrosos triangulares positivos (a, b, c) pueden asumir la siguiente representación:

PESO	NÚMERO BORROSO ASOCIADO		
Relevancia escasa (RE)	0	0	0,3
Relevancia moderada (RM)	0	0,3	0,5
Relevante (R)	0,2	0,5	0,8
Relevancia alta (RA)	0,5	0,7	1
Relevancia muy alta (RMA)	0,7	1	1

Tabla 1

Los números difusos triangulares que representan las etiquetas pueden ser simétricos o no, como en este caso. En el gráfico 2 puede verse la representación de las etiquetas y sus valores utilizados para la valoración de los criterios en este trabajo.

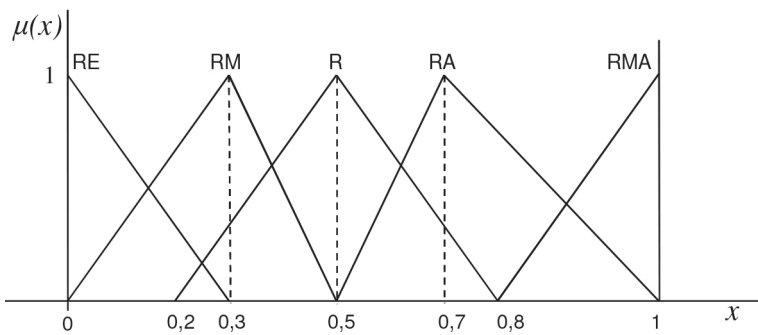


Gráfico 2

La calificación que cada decisor brinda de las alternativas para cada uno de los criterios, puede expresarse también como una variable lingüística con números borrosos triangulares del tipo (a, b, c) . Las etiquetas podrían asumir los conceptos de muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo, o bien otra escala similar.

En el modelo utilizado en el presente trabajo, se utilizan de manera combinada funciones de utilidad, expresadas como números reales, y variables lingüísticas. Por este motivo definimos algunas operaciones con números borrosos.

Si:

$$m = (a, b, c)$$

$$n = (d, e, f)$$

son números borrosos y r es un número real

$$m \oplus n = (a + d, b + e, c + f) \quad (2)$$

$$m \otimes n = (a \cdot d, b \cdot e, c \cdot f) \quad (3)$$

$$m \div r = \left(\frac{a}{r}, \frac{b}{r}, \frac{c}{r} \right) \quad (4)$$

Finalmente, si $r = (a, b, c)$ es un número real, entonces $a = b = c = r$

2.1. SECUENCIA DEL MODELO

El modelo propuesto supone una serie de pasos en su aplicación que se pueden expresar del modo siguiente:

Paso 1

El decisor evalúa la importancia o peso de cada criterio y lo presenta haciendo uso de la variable lingüística pertinente.

Paso 2

El decisor evalúa cada alternativa respecto de cada criterio, en algunos casos a través de variables lingüísticas y en otros a través de una función de utilidad de valores reales.

Paso 3

Se convierten las evaluaciones lingüísticas (Paso 1) en números borrosos triangulares, de acuerdo con la tabla pertinente. De este modo, se logra formar la matriz de ponderaciones o pesos borrosos de los criterios.

Finalizado el Paso 3 queda conformado un vector de pesos borrosos para los distintos criterios:

$$\left[W_1, W_2, \dots, W_n \right] \quad (5)$$

Dónde cada elemento del vector es un número borroso triangular.

Paso 4

El mismo procedimiento utilizado en el Paso 3 se sigue para convertir las evaluaciones lingüísticas del Paso 2 en una matriz de decisión borrosa.

En el caso de evaluaciones a través de números reales, éstos serán expresados como números borrosos.

Finalizado el Paso 3 queda, consecuentemente, una matriz de decisión constituida por números borrosos triangulares con el siguiente diseño:

$$\begin{matrix}
 & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\
 A_1 & \left[\begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdot & x_{mn} \end{matrix} \right] \\
 A_2 & & & & \\
 \cdot & & & & \\
 A_m & & & &
 \end{matrix} \quad (6)$$

Paso 5

Consiste en la preparación de la matriz de decisión borrosa normalizada con el objetivo de que la escala sea la misma para todos los criterios.

Para la normalización existen diferentes alternativas. Entre las más utilizadas encontramos la normalización por suma o la normalización euclidiana.

Una alternativa viable en cuanto a su sencillez es emplear una escala lineal para transformar las evaluaciones de los criterios en una escala comparable.

A partir de cada número borroso correspondiente a las alternativas,

$$x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (7)$$

se obtiene un número borroso triangular normalizado, para el caso de criterios a maximizar se divide cada elemento del número borroso anterior por el valor máximo del elemento

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{\max c_j}, \frac{b_{ij}}{\max c_j}, \frac{c_{ij}}{\max c_j} \right) \quad (8)$$

y para el caso de criterios a minimizar se divide el valor mínimo del elemento a

por cada elemento en orden inverso del número borroso anterior.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{\min a_j}{c_{ij}}, \frac{\min a_j}{b_{ij}}, \frac{\min a_j}{a_{ij}} \right) \quad (9)$$

De este modo el procedimiento asegura que los números borrosos resultantes siguen perteneciendo al intervalo [0, 1].

La matriz normalizada resultante es una matriz de dimensión m x n con el siguiente diseño:

$$A_j \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \dots & \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \dots & \tilde{r}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \tilde{r}_{m1} & \tilde{r}_{m2} & \cdot & \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Paso 6

Consiste en la preparación de la matriz de decisión borrosa normalizada ponderada por el peso de los criterios.

En este caso, cada número borroso triangular de la matriz obtenida en el paso anterior debe ser afectado por el peso o ponderación del criterio respectivo, obteniendo un nuevo número borroso triangular del modo siguiente:

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes W_j \quad (11)$$

El diseño de la matriz resultante es similar a la obtenida en el paso anterior (matriz de dimensión m x n):

$$A_j \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} & \dots & \tilde{v}_{1n} \\ \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} & \dots & \tilde{v}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \tilde{v}_{m1} & \tilde{v}_{m2} & \cdot & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Paso 7

En este estado de la aplicación del método, es posible definir las soluciones ideal positiva (A+) e ideal negativa (A-) también como números borrosos triangulares.

Para la solución ideal positiva podría considerarse la siguiente solución:

$$A^+ = [\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+] \quad (13)$$

\tilde{v}_j^+ es el máximo para cada criterio.

Del mismo modo, para la solución ideal negativa, se tiene:

$$A^- = [v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-] \quad (14)$$

\tilde{v}_j^- es el mínimo para cada criterio.

Sin embargo, puede utilizarse un método alternativo con números triangulares borrosos equivalentes a números reales, que representen indudablemente el máximo y el mínimo, respectivamente, de cada criterio, es decir:

$$A^+ = [(1, 1, 1), (1, 1, 1), \dots, (1, 1, 1)] \quad (15)$$

$$A^- = [(0, 0, 0), (0, 0, 0), \dots, (0, 0, 0)] \quad (16)$$

siendo los valores máximos y mínimos de cada uno de los números borrosos que conforman la matriz calculada en el paso anterior, para cada uno de los criterios.

Paso 8

El siguiente paso consiste en calcular la distancia entre cada acción o alternativa y las soluciones ideal positiva e ideal negativa, respectivamente, lo que debe ser efectuado para cada uno de los

criterios o pautas intervinientes en el proceso de decisión.

Puede calcularse la distancia entre 2 números borrosos con un resultado también difuso (por ejemplo, una distancia euclidiana).

Sin embargo, la distancia entre dos números borrosos triangulares h y k puede ser calculada también eliminando la borrosidad y arribando a un número real, mediante el método Vertex (Chen-Tung Chen, 2000):

$$d(\tilde{h}, \tilde{k}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_h - a_k)^2 + (b_h - b_k)^2 + (c_h - c_k)^2]} \quad (17)$$

Consecuentemente, se calcula la distancia entre las matrices obtenidas en los pasos 6 y 7, del modo siguiente:

$$d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_{ij} - 1)^2 + (b_{ij} - 1)^2 + (c_{ij} - 1)^2]} \quad (18)$$

$$d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_{ij} - 0)^2 + (b_{ij} - 0)^2 + (c_{ij} - 0)^2]} \quad (19)$$

y finalmente se calcula la distancia de cada alternativa o acción al ideal positivo y al ideal negativo, sumando las distancias obtenidas para cada criterio:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^+) \quad (20)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^-) \quad (21)$$

lo que permite construir una tabla del tipo:

	IDEAL POSITIVO A^+	IDEAL NEGATIVO A^-
A_1	d_1^+	d_1^-
A_2	d_2^+	d_2^-
...
A_m	d_m^+	d_m^-

Tabla 2

Paso 9

En este paso se calcula el índice de similitud (IS) de cada alternativa, lo que permitirá el ordenamiento final de las mismas.

$$IS_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (22)$$

Tal cual se observa en la relación, el IS calcula la lejanía al ideal negativo en relación a la suma de distancias hacia ambos ideales.

Obviamente, la alternativa con el mayor valor de este índice resultará la preferida.

ESTUDIO EMPÍRICO

El modelo propuesto se utilizó con el objetivo de ayudar a una empresa constructora a seleccionar el mejor terreno para un desarrollo inmobiliario. Por las características de la futura construcción -complejo de residencias en altura- los decisores establecieron los siguientes requisitos:

1.- La ubicación del terreno es sumamente importante; deberá seleccionarse dentro de las zonas permitidas para este tipo de emprendimientos teniendo en cuenta que sean de fácil acceso por carretera, sin villas de emergencia en las cercanías y próximos a la zona de colegios bilingües y centros comerciales.

2.- El tamaño del terreno es otro factor importante. Se descartan lotes de menos de 5 Has.

3.- La disponibilidad de contar con servicios de energía eléctrica, agua corriente, gas y cloacas es otro requisito a considerar.

4.- Respecto al monto destinado a la adquisición del terreno, se dispone de hasta US\$ 1.000.000.-

En primer lugar de definieron los criterios que el inversor consideró relevantes para la selección.

Criterios:

C1: Ubicación del terreno.

C2: Tamaño del lote, medido en Has.

C3: Servicios disponibles en el terreno.

C4: Costo del terreno, en miles de pesos.

Se analizaron 3 lotes factibles con las dimensiones y costos que se detallan en la tabla:

	TAMAÑO	COSTO
LOTE 1	5	1000
LOTE 2	8	700
LOTE 3	10	450

Tabla 3

Para los criterios no cuantificables se le propuso al inversor utilizar las etiquetas lingüísticas que se presentan en la tabla 4:

M	Malo	0	1	3
R	Regular	3	5	7
B	Bueno	5	7	9
MB	Muy bueno	7	9	10

Tabla 4

Para la valoración de la importancia de cada criterio se le propuso las etiquetas lingüísticas de la tabla 5:

RE	Relevancia escasa	0	0	0,3
RM	Relevancia moderada	0	0,3	0,5
R	Relevante	0,2	0,5	0,8
RA	Relevancia alta	0,5	0,7	1
RMA	Relevancia muy alta	0,7	1	1

Tabla 5

A continuación se muestra el procedimiento siguiendo los pasos del modelo, cabe aclarar que el problema aquí mostrado ha sido simplificado y que para el procesamiento del problema real se desarrolló una aplicación informática.

Paso 1

El decisor evalúa la importancia de cada criterio haciendo uso de las etiquetas lingüísticas de la Tabla 5.

C1	C2	C3	C4
RA	R	RA	R

Tabla 6

Paso 2

El decisor evalúa las alternativas frente a cada criterio.

	C1	C2	C3	C4
A1	MB	5	MB	1000
A2	B	8	M	700
A3	R	10	R	450

Tabla 7

Paso 3

Se convierten las evaluaciones lingüísticas y la importancia de cada criterio (Paso 1) en números borrosos triangulares de acuerdo a la tabla 6. De este modo, se logra formar la matriz de ponderaciones o pesos borrosos de los criterios.

C1			C2			C3			C4		
0,5	0,7	1	0,2	0,5	0,8	0,5	0,7	1	0,2	0,5	0,8

Tabla 8**Paso 4**

El mismo procedimiento utilizado en el Paso 3 se sigue para convertir las evaluaciones del Paso 2 en una matriz de decisión borrosa, en el caso de números reales se los expresa también como números difusos triangulares.

	C1			C2			C3			C4		
A1	7	9	10	5	5	5	7	9	10	1000	1000	1000
A2	5	7	9	8	8	8	0	1	3	700	700	700
A3	3	5	7	10	10	10	3	5	7	450	450	450

Tabla 9**Paso 5**

Preparación de la matriz de decisión borrosa normalizada, teniendo en cuenta que los tres primeros criterios son a maximizar y el último a minimizar.

	C1			C2			C3			C4		
A1	0,7	0,9	1	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9	1	0,45	0,45	0,45
A2	0,5	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0	0,1	0,3	0,64	0,64	0,64
A3	0,3	0,5	0,7	1	1	1	0,3	0,5	0,7	1	1	1

Tabla 10

Paso 6

Preparación de la matriz de decisión borrosa normalizada ponderada por el peso de los criterios.

	C1			C2			C3			C4		
A1	0,35	0,63	1	0,1	0,25	0,4	0,35	0,63	1	0,09	0,225	0,36
A2	0,25	0,49	0,9	0,16	0,4	0,64	0	0,07	0,3	0,13	0,32	0,51
A3	0,15	0,35	0,7	0,2	0,5	0,8	0,15	0,35	0,7	0,2	0,5	0,8

Tabla 11**Paso 7**

Se definen las soluciones ideal positiva (A+) e ideal negativa (A-) como números borrosos triangulares.

	C1			C2			C3			C4		
A+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 12**Paso 8**

Se calcula la distancia entre cada alternativa y las soluciones ideal positiva e ideal negativa, respectivamente, de acuerdo a lo detallado anteriormente. Los valores resultantes son los siguientes:

ALTERNATIVA	d_i^+	d_i^-
A1	2,4063694	1,952267
A2	2,7405897	1,5901947
A3	2,396778	2,0336978

Tabla 13**Paso 9**

Cálculo del índice de similaridad (IS) de cada alternativa:

ALTERNATIVA	IS
A1	0,4479078
A2	0,367184
A3	0,4590247

Tabla 14

De dónde, la mejor alternativa, de acuerdo a estos resultados obtenidos en la Tabla 13, es comprar el LOTE 3

CONCLUSIONES

En el trabajo se presenta una variante al modelo multicriterio difuso propuesto por Chen (2000). Se muestra el potencial que el mismo posee como herramienta en la evaluación de decisiones en escenarios complejos, donde el decisor se enfrenta a criterios con información imprecisa y datos inciertos.

Se considera que mediante este trabajo se logró mostrar flexibilidad que otorga al analista la modelización de criterios mediante variables lingüísticas y cómo utilizar la herramienta de manera sencilla y práctica.

La utilidad del modelo nace justamente de su versatilidad en la aplicación. Entre las principales ventajas en su aplicación se destacan:

- es apto para un decisor particular o para un grupo de decisores.
- es sencillo en su utilización con decisores no avezados en modelos cuantitativos dado que una representación lingüística de una observación o percepción cognitiva, puede requerir una transformación menos complicada para la mente humana que una representación numérica.
- se aplica a cualquier situación decisoria que tenga diversas alternativas o cursos de acción.
- permite evaluar las alternativas con múltiples criterios.
- permite brindar diferente peso o ponderación a cada criterio.
- su mecanismo técnico es simple en sus pasos matemáticos, por lo que facilita la programación o creación de un software adecuado para su aplicación, que permita visualizar las salidas finales desde las entradas brindadas por un decisor no especializado en métodos cuantitativos.

- es de destacar la flexibilidad del método que, con sus ponderaciones a libre elección del decisor/es, posibilita distintos análisis de sensibilidad en la obtención de un ranking de preferencia de las acciones posibles; es, entonces, una herramienta útil e importante en el proceso de decisión.

Consecuentemente, es hora de pensar en la extensión de estos modelos hacia las pequeñas organizaciones.

El futuro analista o asesor de gestión, necesariamente deberá ser interdisciplinario y trabajar y coordinar equipos con la ayuda de tecnología apropiada. Parece tarea ardua en la realidad de la crisis argentina, pero el esfuerzo bien vale la pena si se desean organizaciones eficientes en un futuro país en crecimiento.

REFERENCIAS

- ARMERO EVA, GARCÍA CASCALES SOCORRO, GOMEZ LOPEZ DOLORES AND LAMATA MARÍA TERESA. (2011). *"Decision Making in Uncertain Rural Scenarios by means of Fuzzy TOPSIS Method"*. Hindawi Publishing Corporation Advances in Decision Sciences, Volume 2011, Article ID 937092, 15 pages, doi:10.1155/2011/937092 Research Article
- AUTRAN GOMES L., GONZÁLEZ ARAYA M. Y CARIGNANO C. (2004). *"Tomada de decisoes em cenarios complexos"*. Thomson Editores. Sao Paulo, Brasil.
- BONISSONE, P.P., AND K.S. DECKER. (1986). *"Selecting Uncertainty Calculo and Granularity: An Experiment in Trading-Off Precision and Complexity"*. In L.H. Kanal and J.F. Lemmer (eds.) *Uncertainty in Artificial Intelligence*. New York: North-Holland.
- CHEN-TUNG CHEN. (2000). *"Extensions of the TOPSIS for group-decision making under fuzzy environment"* - Fuzzy Sets and Systems, Vol. 114, 1-9.
- CHEN S.J. AND HWANG C.L. (1992). *Fuzzy "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications"*. Springer-Verlang, Berlin.
- GARCÍA-CASCALES M. S., LAMATA M. T., SÁNCHEZ LOZANO J. (2012). *"Evaluation of photovoltaic cells in a multi-criteria decision making process"*. Annals of Operations Research, 1-19.
- JATO-ESPINO D., CASTILLO LOPEZ E., RODRIGUEZ HERNANDEZ J. y CANTERAS JORDANA J. C. (2014). *"A review of application of multi-criteria decision making methods in construction"*. Automation in Construction 45, 151-162.
- LA VOZ DEL INTERIOR. (2015). *"Seis claves para elegir un lote"*. Publicado el 7/7/2015. <http://www.lavoz.com.ar/node/1026829>
- LA NACIÓN. (2015). *"Claves a la hora de elegir"*. Publicado el 31/7/2015. <http://www.lanacion.com.ar/1289370-claves-a-la-hora-de-elegir>.
- YOON K. AND HWANG C. (1995). *"Multiple Attribute Decision Making"*. An Introduction. Sage, New York, USA.
- YONG HUANG L., PIN-CHAN L., TA-PENG CHANG, HSIN-YI TING. (2008). *"Multi-attribute group decision making model under the condition of uncertain information"*. Automation in Construction. Volume 17, Issue 6, 792-797.
- ZADEH L.A. (1975). *"The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning"*. Information Sciences, Vol 8, 3. 199-249.