



**AgEcon** SEARCH

RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

# Multi-criteria decision model to select the best productive projects in rural Mexico

## Modelo de decisión multicriterio para seleccionar los mejores proyectos productivos en el medio rural mexicano

Pérez-Ramírez, Rodrigo<sup>1</sup>; Martínez-Damián, Miguel Ángel<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

\*Autor para correspondencia: angel01@colpos.mx

### ABSTRACT

**Objective:** To propose a multicriteria model for the selection and prioritization of projects that will be financed by competitive public funds.

**Design/methodology/approach:** The methodological proposal includes the use of two multicriteria decision tools: AHP and TOPSIS. The model determines a series of criteria that must be considered to evaluate the investment proposals and, with the help of the AHP tool, weighs these criteria, because not all of them have the same importance when evaluating. To select the best proposals, the TOPSIS tool has been used. A demonstration of the application of these methods in a hypothetical problem is presented.

**Results:** The proposed model has been applied to a practical case and it was found that the tool allows the prioritization of the proposals so that the best evaluated projects, according to the established set of criteria, must be the first to be financed.

**Limitations on study/implications:** Although the model improves the process of selecting the best projects, the process becomes more complex, requiring the evaluator a greater amount of time in the evaluation.

**Findings/conclusions:** This methodology can be replicable to any system of evaluation of projects where multiple investment criteria are present, but it is necessary that the financing agency has clarity in its objectives.

**Keywords:** Multi-criteria analysis, AHP-TOPSIS, prioritization and selection projects.

### RESUMEN

**Objetivo:** Proponer un modelo multicriterio para la selección y priorización de proyectos a financiarse con fondos públicos concursables.

**Diseño/metodología/aproximación:** La propuesta metodológica comprende el uso de dos herramientas de decisión multicriterio: AHP y TOPSIS. El modelo define una serie de criterios que se consideran importantes a la hora de la evaluación de las propuestas de inversión y mediante la herramienta AHP se ponderan para que tengan las mismas unidades de valoración, ya que son de carácter y tipo distinto. Para seleccionar las mejores propuestas, se ha utilizado la herramienta TOPSIS. Se presenta una demostración de la aplicación del modelo en un portafolio de ocho proyectos.

**Resultados:** El modelo desarrollado ha sido aplicado a un caso práctico y se ha encontrado que permite realizar la priorización de las propuestas de manera que los proyectos mejor evaluados, según el conjunto de criterios establecidos, deben ser las primeras en ser financiadas.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** Aunque el modelo mejora el proceso de evaluación integral de las propuestas de inversión, añade complejidad al procedimiento, requiriendo al evaluador una mayor cantidad de tiempo en la toma de decisiones.

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 2, febrero, 2020. pp: 101-X.

**Recibido:** julio, 2019. **Aceptado:** enero, 2020.

**Hallazgos/conclusiones:** Esta metodología puede ser replicable a cualquier sistema de evaluación de propuestas de inversión en donde están presentes múltiples criterios de inversión, siempre y cuando se cuente con la claridad de los objetivos del organismo financiador.

**Palabras Clave:** análisis multicriterio, AHP-TOPSIS, priorización y selección de proyectos.

## INTRODUCCIÓN

A partir de información pública disponible en la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP, 2014), para el año 2019, se presenta una oferta de 2,003 apoyos del gobierno distribuidos en 13 sectores como educación, salud, desarrollo social, economía, entre otros. El organismo con mayor oferta de programas es la Secretaría de Educación Pública con 490 programas. Le siguen la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) con 385, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) con 290 programas, Desarrollo Social con 231, Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano con 165 y Economía con 105.

Generalmente, el mecanismo para acceder a la mayoría de estos apoyos es a través de la emisión pública de unas reglas de operación donde se exponen criterios de elegibilidad, selección y evaluación de cada propuesta. Por lo regular, el proceso de selección consta de tres etapas, en la primera se aplican los criterios de elegibilidad para descartar aquellas propuestas que no cumplen los criterios mínimos de participación. En la segunda, se evalúan las propuestas con base en criterios establecidos por el programa, principalmente son del tipo técnico y económico. La tercera etapa es la priorización de los proyectos que han superado la etapa de evaluación para determinar qué proyectos son de interés para programa para apoyar, independientemente si fueron mejor evaluados o no. Cada uno de estos procesos tiene como objetivo descartar alternativas y no para seleccionar las mejores alternativas de inversión.

De una revisión de las reglas de operación de 290 programas del Gobierno Federal, se observa una debilidad en la asignación de puntajes (pesos) para cada criterio establecido. Estos pesos se asignan sin ningún método, dejando de lado una evaluación multicriterio de la pro-

puesta de inversión, esto a pesar de que cada perfil de proyecto requiere del solicitante información técnica, social, económica y ambiental.

Varios estudios se han centrado en el uso de técnicas de toma de decisiones multicriterio para resolver este tipo de problemas (Agarwal, P., M. Sahai, *et al.*, 2011). Por su parte, Mahmoodzadeh *et al.* (2007) ofrecieron un marco estructurado para la selección de proyectos usando dos herramientas de análisis multicriterio: Proceso de Análisis Jerárquico (The Analytic Hierarchy Process, AHP) y el TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution). Es en este marco donde se circunscribe nuestra investigación.

En este contexto, se propone un modelo de decisión multicriterio cuya finalidad es seleccionar las mejores propuestas de inversión considerando múltiples criterios de evaluación. El proceso consta de tres pasos: 1) determinación de criterios y subcriterios, 2) evaluación de las propuestas y 3) selección de los mejores proyectos.

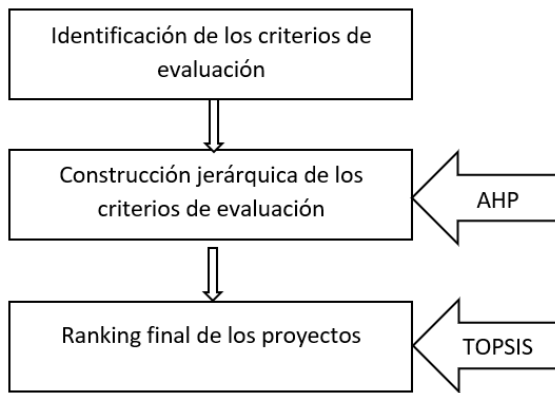
El objetivo del modelo es proporcionar una herramienta de evaluación de proyectos de inversión con base fundamentalmente en criterios económicos, técnicos, sociales y ambientales, de utilidad para los responsables de la toma de decisiones en la implementación de proyectos productivos financiados con fondo gubernamentales concursables. Para la demostración del modelo, se ha realizado un ejemplo numérico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo que combina dos herramientas multicriterio utilizadas con mayor frecuencia en problemas de selección y evaluación de proyectos (AHP y TOPSIS). El modelo propuesto en este artículo consiste en el desarrollo de tres pasos principales:

- Paso 1. Identificación de los criterios considerados como los más importantes en la evaluación de proyectos.
- Paso 2. Construcción de la matriz jerárquica de los criterios de evaluación y pesos de ponderación usando el método AHP.
- Paso 3. Aplicación del método TOPSIS para la selección y priorización de los proyectos.

En la Figura 1, se puede observar el resumen de estos pasos.



**Figura 1.** Pasos modelo de decisión multicriterio para seleccionar los mejores proyectos productivos en el medio rural mexicano.

La descripción de cada uno de los pasos se detalla en las siguientes secciones.

**Determinación de los criterios y ponderaciones usando el método AHP**

El proceso de jerarquía analítica (AHP) es una herramienta de toma de decisiones del tipo de multicriterio desarrollado por el matemático Thomas Saaty y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un Modelo Jerárquico (Saaty, 1990). Los componentes esenciales del modelo jerárquico son la meta u objetivo principal, los criterios que afectan la meta general, los subcriterios que influyen en los criterios principales y, finalmente, las alternativas disponibles para el problema. Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realizan comparaciones por pares de cada una de las alternativas en evaluación (criterios y subcriterios) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias utilizando la escala de preferencia Saaty (Cuadro 1). Una vez obtenido la Matriz de Comparaciones pareadas, se obtiene el vector propio asociado al mayor valor propio de la matriz ( $\lambda_{max}$ ). Con el valor propio se calcula la relación de consistencia (CR) de la matriz y con ello validar si se proporciona una evaluación completamente consistente.

**Cuadro 1.** Escala de preferencias Saaty.

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL
1	Ambos elementos son de igual importancia.
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte importancia de un elemento sobre otro.
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro.
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.

Los pasos para la aplicación del método AHP en nuestra investigación son:

Paso 1. Estructuración del modelo jerárquico.

Paso 2. Construcción de la matriz de comparaciones pareadas.

$$A_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n & a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Paso 3. Construcción de la matriz de decisión normalizada.

$$c_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

$i=1,2,3,\dots,n, \quad j=1,2,3,\dots,n$

Paso 4. Cálculo del vector de prioridades de los criterios.

$$w_1 = \sum_{j=1}^n c_{ij} \quad | \quad n, i=1,2,3,\dots,n \quad (2)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Paso 5. Cálculo del autovalor principal de A.

$$\lambda_{max} = Aw / w, \quad \text{con} \quad \sum_j w_j = 1 \quad (4)$$

Donde  $A=(a_{ij})$  es la matriz recíproca de comparaciones pareadas,  $\lambda_{max}$  el autovalor principal de A, y  $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$

Paso 6. Cálculo del índice de consistencia y radio de consistencia

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

$$CR = CI / RI \quad (6)$$

**Evaluación y selección de los proyectos con TOPSIS**

TOPSIS fue desarrollado por Hwang y Yoon (1981) y su base matemática se fundamenta en que la mejor alternativa es aquella que minimiza la distancia a la Solución



Positiva Ideal (NIS) y a la maximiza la distancia a la Solución Negativa Ideal (NIS).

Los pasos a seguir para aplicar TOPSIS a nuestro modelo incluyen:

Paso 1. Se construye la matriz de decisión  $A^k$  para el experto  $k$ .

$$A^k = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

Donde  $1, 2, \dots, m$  son las alternativas y  $C_1, C_2, \dots, C_n$  son los criterios,  $x_{ij}$  indica la puntuación de la alternativa  $i$  para el criterio  $C_j$ , de acuerdo al criterio de los evaluadores y a la escala de valores definida para los números triangulares difusos.

Paso 2. Se debe encontrar una matriz promedio  $A$ , que no es más que el promedio de todas las calificaciones otorgadas por los evaluadores:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^l \tilde{x}_{ij}^k}{l} \quad (7)$$

Paso 3. Cálculo de la matriz normalizada ponderada  $P = [\tilde{p}_{ij}]_{m \times n}$  con  $i=1, \dots, m$  y  $j=1, \dots, n$  multiplicando la matriz de decisión normalizada por el vector de pesos:

$$\tilde{p}_{ij} = w_j \times \tilde{x}_{ij} \quad (8)$$

Paso 4. Se identifican las soluciones positivas y negativas ideales,  $A^+$  y  $A^-$  (PIS y NIS), respectivamente:

$$A^+ = (\max \tilde{p}_{ij} / j \in J, i = 1, \dots, m) \quad (9)$$

$$A^- = (\min \tilde{p}_{ij} / j \in J, i = 1, \dots, m) \quad (10)$$

Paso 5. Se construyen dos vectores con los valores máximos y mínimos de  $p_{ij}$  para cada alternativa:

$$A^+ = (\widetilde{p}_1, \widetilde{p}_2, \dots, \widetilde{p}_m), \text{ donde } p_{ij} = w_j \times \bar{x}_{ij} \quad (11)$$

$$A^- = (\widetilde{p}_1, \widetilde{p}_2, \dots, \widetilde{p}_m), \text{ donde } p_{ij} = w_j \times \bar{x}_{ij} \quad (12)$$

Paso 6. Se calculan las distancias euclidianas a la solución ideal  $A^+$  y a la solución negativa ideal  $A^-$ :

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{p}_{ij}, \tilde{p}_j^+), \text{ para } i=1, \dots, m. \quad (13)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{p}_{ij}, \tilde{p}_j^-), \text{ para } i=1, \dots, m. \quad (14)$$

Paso 7. Finalmente se calcula el Coeficiente de Cercanía  $CC_i$  a la solución ideal, para cada alternativa  $A_i$ :

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (15)$$

### Desarrollo del caso numérico

Una vez analizados los principales criterios utilizados para la evaluación de propuestas de inversión a través de una revisión de literatura y de las reglas de operación de los principales programas del Gobierno Federal (SHCP, 2014), se determina que para realizar un ejercicio práctico del modelo se utilizará un conjunto de cuatro criterios principales (económico, técnico, social y ambiental) y 16 subcriterios.

### Determinación de los criterios y ponderaciones usando el método AHP

En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del método AHP al conjunto criterios y 16 subcriterios seleccionados, obteniéndose las ponderaciones globales y locales. Se indica además el tipo y dimensión de cada uno de los subcriterios, así como la referencia bibliográfica principal de su uso en la evaluación de proyectos.

### Evaluación y selección de los proyectos con TOPSIS

Para esta etapa, cada proyecto será dictaminado por dos evaluadores que seguirán dos sistemas de evaluación, el uso de los números reales cuando el criterio tiene dimensión cuantitativa, y el uso de cinco términos lingüísticos cuando el criterio tiene dimensión cualitativa (Cuadro 3). Los términos lingüísticos medirán el nivel de rendimiento de cada evaluador respecto a cada criterio cualitativo (Cuadro 4).

Si el subcriterio es de dimensión cuantitativa la calificación es el mismo valor del indicador cuantitativo (Cuadro 5) y dependiendo de su dimensión (beneficio o costo) se otorga una calificación relativa a todas las alternativas, respecto al máximo si es de beneficio o al mínimo si es de costo. Para operar matemáticamente el proceso, todos los criterios deberán transformarse en sus correspondientes números difusos con  $a=b=c$  (Cuadro 6).

**Cuadro 2.** Ponderaciones obtenidas por el método AHP.

Criterio / Peso	Subcriterio	Símbolo	Referente principal	Tipo / Dimensión	Peso local	Peso global
Económico 25.80%	Inversión inicial (fija y diferida)	SC1	Candia <i>et al.</i> (2015)	Costo - Cuantitativo	9.30%	2.40%
	$VAN > 0$ , $TIR > To$ , $RBC > 1$	SC2	Vecino <i>et al.</i> (2015)	Costo - Cualitativo	43.40%	11.20%
	Periodo de recuperación de la inversión	SC3	Mongrut M. & Wong C. (2005)	Costo - Cuantitativo	27.10%	6.99%
	Incremento en la productividad	SC4	ECONOMÍA (2018)*	Beneficio - Cualitativo	20.20%	5.21%
Social 11.40%	Grado de marginación	SC5	SAGARPA (2018)*	Beneficio - Cualitativo	8.30%	0.95%
	Incremento de cobertura	SC6	Martínez (2005)	Beneficio - Cualitativo	11.80%	1.35%
	Número de beneficiarios	SC7	SAGARPA (2018)*	Beneficio - Cuantitativo	24.90%	2.84%
	Número de empleos generados	SC8	Ramírez <i>et al.</i> (2017)	Beneficio - Cuantitativo	55.00%	6.27%
Técnico 29.90%	Localización óptima	SC9	Medina <i>et al.</i> (2009)	Beneficio - Cualitativo	15.90%	4.75%
	Cercanía del mercado objetivo	SC10	Hurtado (2011)	Beneficio - Cualitativo	28.60%	8.55%
	Disponibilidad de materias primas	SC11	Corrillo <i>et al.</i> (2006)	Beneficio - Cualitativo	19.70%	5.89%
	Disponibilidad de mano de obra	SC12	Medina <i>et al.</i> (2009)	Beneficio - Cualitativo	35.80%	10.70%
Ambiental 32.90%	Nivel de significancia de los impactos	SC13	INAES (2017)*	Beneficio - Cualitativo	17.00%	5.59%
	Uso sustentable de los recursos naturales	SC14	SAGARPA, 2018*	Beneficio - Cualitativo	42.90%	14.11%
	Generación de descargas líquidas	SC15	LGEEPA, 2015	Beneficio - Cualitativo	9.80%	3.22%
	Desmonte permanente de la vegetación	SC16	LGEEPA, 2015	Beneficio - Cualitativo	30.30%	9.97%

\*Reglas de operación.

**Cuadro 3.** Variables lingüísticas para nivel de satisfacción de las alternativas

Variable lingüística	Número difuso
Muy bueno	(0.75, 1.0, 1.0)
Bueno	(0.50, 0.75, 1.0)
Aceptable	(0.25, 0.5, 0.75)
Pobre	(0.0, 0.25, 0.5)
Muy pobre	(0.0, 0.0, 0.25)

**Cuadro 5.** Calificaciones de criterios cuantitativos.

Alternativa	SC1*	SC3**	SC7***	SC8***
Proyecto 1	170,986.00	2.8	16	16
Proyecto 2	232,001.00	2.0	5	7
Proyecto 3	229,473.00	1.0	5	7
Proyecto 4	188,030.00	2.1	7	10
Proyecto 5	152,475.00	3.5	5	5
Proyecto 6	170,000.00	2.1	10	10
Proyecto 7	343,470.00	6.0	14	14
Proyecto 8	500,000.00	4.1	13	13

\*Valor dado en pesos; \*\*Valor dado en años; \*\*\*Valor dado en número de personas.

**Cuadro 4.** Calificaciones de criterios cualitativos realizado por dos evaluadores.

Alternativa	SC2		SC4		SC5	
	Evaluador 1	Evaluador 2	Evaluador 1	Evaluador 2	Evaluador 1	Evaluador 2
Proyecto 1	Aceptable	Bueno	Pobre	Aceptable	Bueno	Bueno
Proyecto 2	Aceptable	Aceptable	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Proyecto 3	Pobre	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Proyecto 4	Aceptable	Aceptable	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Aceptable
Proyecto 5	Bueno	Pobre	Aceptable	Pobre	Bueno	Bueno
Proyecto 6	Pobre	Aceptable	Bueno	Aceptable	Bueno	Bueno
Proyecto 7	Bueno	Bueno	Bueno	Aceptable	Bueno	Bueno
Proyecto 8	Muy bueno	Bueno	Pobre	Aceptable	Bueno	Bueno



**Cuadro 6.** Equivalencia en números difusos de un indicador cualitativo y un cuantitativo.

Subcriterios	SC1*						SC2**					
	EVALUADOR 1			EVALUADOR 2			EVALUADOR 1			EVALUADOR 2		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	A	b	c
Proyecto 1	0.892	0.892	0.892	0.892	0.892	0.892	0.25	0.50	0.75	0.50	0.75	1.00
Proyecto 2	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657	0.25	0.50	0.75	0.25	0.50	0.75
Proyecto 3	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.00	0.25	0.50	0.50	0.75	1.00
Proyecto 4	0.811	0.811	0.811	0.811	0.811	0.811	0.25	0.50	0.75	0.25	0.50	0.75
Proyecto 5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.50	0.75	1.00	0.00	0.25	0.50
Proyecto 6	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.00	0.25	0.50	0.25	0.50	0.75
Proyecto 7	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.50	0.75	1.00	0.50	0.75	1.00
Proyecto 8	0.305	0.305	0.305	0.305	0.305	0.305	0.75	1.00	1.00	0.50	0.75	1.00

\*Subcriterio cuantitativo; \*\*Subcriterio cualitativo.

Con base en la ecuación (7) se calcula la matriz de calificaciones promedio con  $l=2$  evaluadores. Posteriormente, con la ecuación (8) se calcula la matriz de decisión promedio ponderada, según los pesos globales de cada subcriterio, producto de la aplicación del método AHP en el paso uno del modelo propuesto. En el Cuadro 7 se presentan los valores obtenidos para los primeros cuatro subcriterios.

Ahora se identifican las soluciones positivas y negativas ideales  $A^+$  y  $A^-$  (PIS y NIS), aplicando las ecuaciones del (9) al (12). Estas soluciones constituyen el mejor y peor escenario posible de acuerdo con las evaluaciones de todos

los proyectos en cada uno de los subcriterios (Cuadro 8). Con estos valores, se calcula ahora la distancia euclidiana de cada alternativa a la solución positiva y negativa ideal con las ecuaciones (13) y (14). Finalmente se calcula el coeficiente de cercanía  $CC_i$  con la ecuación (15). Este último valor es el puntaje que define su priorización (Cuadro 9).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en los criterios establecidos y a la ponderación de cada uno de ellos realizada por el método AHP, el proyecto 8 se convierte en la alternativa más dominante del portafolio de los proyectos evaluados, con el valor

**Cuadro 7.** Calificaciones promedio ponderadas.

Alternativa	SC1			SC2			SC3			SC4		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Proyecto 1	0.021	0.021	0.021	0.042	0.070	0.098	0.025	0.025	0.025	0.007	0.020	0.033
Proyecto 2	0.016	0.016	0.016	0.028	0.056	0.084	0.035	0.035	0.035	0.033	0.046	0.052
Proyecto 3	0.016	0.016	0.016	0.028	0.056	0.084	0.070	0.070	0.070	0.033	0.046	0.052
Proyecto 4	0.019	0.019	0.019	0.028	0.056	0.084	0.033	0.033	0.033	0.033	0.046	0.052
Proyecto 5	0.024	0.024	0.024	0.028	0.056	0.084	0.020	0.020	0.020	0.007	0.020	0.033
Proyecto 6	0.022	0.022	0.022	0.014	0.042	0.070	0.033	0.033	0.033	0.020	0.033	0.046
Proyecto 7	0.011	0.011	0.011	0.056	0.084	0.112	0.012	0.012	0.012	0.020	0.033	0.046
Proyecto 8	0.007	0.007	0.007	0.070	0.098	0.112	0.017	0.017	0.017	0.007	0.020	0.033

**Cuadro 8.** Soluciones positivas y negativas ideales de cuatro subcriterios.

Alternativa	SC1			SC2			SC3			SC4		
	a	b	c	A	b	c	a	b	c	a	b	C
$A^+$	0.024	0.024	0.024	0.070	0.098	0.112	0.070	0.070	0.070	0.033	0.046	0.052
$A^-$	0.007	0.007	0.007	0.014	0.042	0.070	0.012	0.012	0.012	0.007	0.02	0.033

de  $CC_i$  más alto de 0.6531. El proyecto que debe financiarse primero es el 8 y posteriormente el resto de acuerdo con su valor de  $CC_i$ .

## CONCLUSIONES

Seleccionar los proyectos más adecuados se convierte en una tarea difícil debido a la cantidad de criterios que hay que tener cuenta al momento de evaluar y a la dificultad de analizar propuestas provenientes de diferentes contextos. El uso de combinado de dos herramientas de análisis multicriterio, como lo son el AHP y TOPSIS, permite obtener un modelo que resuelve estos dos problemas. AHP determina los pesos de cada criterio y subcriterio en el proceso de evaluación y TOPSIS permite seleccionar los mejores proyectos con base en su  $CC_i$ . Aunque el modelo requerirá que el evaluador destine más tiempo para analizar cada propuesta, se puede aplicar y adaptar a cualquier sistema de evaluación donde están inmersos múltiples criterios de evaluación y exista claridad de los objetivos del organismo financiador.

## LITERATURA CITADA

Agarwal, P., Sahai, M., Mishra, V., Bag, M., & Singh, V. (2011). A review of multi-criteria decision making techniques for supplier evaluation and selection. *International journal of industrial engineering computations*, 2(4), 801-810.

Candia, J., Perrotti, D. E., & Aldunate, E. (2015). Evaluación social de proyectos: un resumen de las principales metodologías oficiales utilizadas en América Latina y el Caribe.

CONAGUA. (2018). Reglas de Operación para los Programas de Infraestructura Hidroagrícola y de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a cargo de la Comisión Nacional del Agua, aplicables a partir de 2019.

Corrillo Machicado, F., & Gutiérrez Quiroga, M. (2016). Estudio de localización de un proyecto. *Revista Ventana Científica*, 7, 29-33.

LGEEPA (2015). Diario Oficial de la Federación. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA).

ECONOMIA. (2018). Reglas de Operación para los Programas de Fomento a la Economía Social a cargo de la Secretaría de Economía, aplicables a partir de 2019.

Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.

Hurtado, J. M. C. (2011). Los proyectos y los planes de negocios. *Perspectivas*, (27), 23-45.

**Cuadro 9.** Distancias Euclidianas a las soluciones positivas y negativas ideales y cálculo del coeficiente de cercanía.

Alternativa	$d^*$	$d^-$	$C_i$	Ranking
Proyecto 1	1.2105	0.7657	0.3875	7
Proyecto 2	1.3732	1.0068	0.4230	4
Proyecto 3	1.5044	1.1148	0.4256	3
Proyecto 4	1.4237	0.9524	0.4008	6
Proyecto 5	1.2761	0.3274	0.2042	8
Proyecto 6	1.4995	1.1395	0.4318	2
Proyecto 7	1.3888	0.9995	0.4185	5
Proyecto 8	0.6863	1.2919	0.6531	1

Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., & Zaeri, M. S. (2007). Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 30, 333-338.

Martínez, R. (2005). Evaluación de programas y proyectos sociales. División de Desarrollo Social, CEPAL.

Medina, J. R., Romero, R. L., & Pérez, G. A. (2009). Localización de una planta industrial: Revisión crítica y adecuación de los criterios empleados en esta decisión. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 8(3), 271-274.

Mongrut Montalvan, S., & Wong Cam, D. (2005). Un examen empírico de las prácticas de presupuesto de capital en el Perú. *Estudios Gerenciales*, 21(95), 95-111.

Ramírez Angulo, N., Mungaray Lagarda, A., Aguilar Barceló, J. G., Anaya, F., & Zulith, Y. (2017). Microemprendimientos como instrumento de combate a la pobreza: una evaluación social para el caso mexicano. *Innovar*, 27(64), 63-74.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.

SAGARPA. (2017). Reglas de Operación del Programa de Estímulos a la Actividad Ganadera (PROGAN) y reglas de Operación. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2014). Apoyos del Gobierno Federal, versión ciudadana. Consultado en <https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx> el 2019-04-01

Vecino, C. E., Rojas, S. C., & Muñoz, Y. (2015). Prácticas de evaluación financiera de inversiones en Colombia. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 41-49.

