

Model of selection and evaluation for graduate applicants in forest sciences

Modelo de selección y evaluación de aspirantes a un posgrado en ciencias forestales

Francisco J. Zamudio-Sánchez; José L. Romo-Lozano*; Amparo Borja-de la Rosa; Gladys Martínez-Gómez; Adriana Ávalos-Vargas

Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5. C. P. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México. *Corresponding author: joseluisromolozano@yahoo.com.mx, tel.: +52 (595) 9521787.

Abstract

Introduction: The admission process of students to a postgraduate program is very important for the improvement of indicators of greater importance in the quality of the program. The problem is the large amount of information requested that is not always considered objectively for the selection of applicants with the desired profile.

Objective: Analyze evaluation models to select postgraduate applicants and, with a metric, choose the most compatible model.

Materials and methods: We used information from 19 applicants for the Master's program in Forest Sciences of the Universidad Autónoma Chapingo. We applied subjective methods of multi-criteria analysis in the phase of consideration of the criteria (3) and sub-criteria (8): point allocation method and analytical hierarchical process. Values were aggregated using the TOPSIS method and the weighted sum method. The most compatible weighting-aggregation combination was determined with Pareto order.

Results and discussion: The combination of the weighted sum method and analytical hierarchical process showed a lower average distance to the order of the rest of the combinations and, consequently, generated a selection of applicants more compatible with the selection criteria.

Conclusion: Multi-criteria methods represent a good option to properly consider the amount of information generated in a selection process.

Keywords: Multi-criteria analysis, weighted sum, TOPSIS, Pareto order.

Resumen

Introducción: El proceso de admisión de estudiantes al posgrado es muy importante para el mejoramiento de los indicadores de mayor ponderación en la calidad del programa. El problema es la gran cantidad de información solicitada que no siempre se considera objetivamente para la selección de aspirantes con el perfil deseado.

Objetivo: Analizar modelos de evaluación para seleccionar aspirantes al posgrado y, vía una métrica, elegir el modelo más compatible.

Materiales y métodos: Se utilizó información de 19 solicitantes de ingreso al programa de la Maestría en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Se aplicaron métodos subjetivos de análisis multicriterio en la fase de ponderación de los criterios (3) y subcriterios (8): método de asignación de puntos y proceso jerárquico analítico. Los valores fueron agregados mediante el método TOPSIS y el método de suma ponderada. La combinación ponderación-agregación más compatible se determinó con el ordenamiento de Pareto.

Resultados y discusión: La combinación del método de la suma ponderada y el proceso jerárquico analítico presentó una distancia promedio menor al ordenamiento del resto de las combinaciones y, consecuentemente, generó una selección de aspirantes más compatible con los criterios de selección.

Conclusión: Los métodos multicriterio representan una buena opción para considerar apropiadamente la cantidad de información generada en un proceso de selección.

Palabras clave: Análisis multicriterio, suma ponderada, TOPSIS, ordenamiento Pareto.

Introduction

The essential purpose of assessing applicants for a postgraduate program is generally to assess the level of satisfaction of the admission profile and to select those who possess characteristics compatible with the program and ensure the success of the program and the individual. "In the strict sense, the aptitude assessments are a diagnostic nature of capacities or potentialities tending to predict educational success" (Ibañez, 2009). The procedures and criteria for admission and selection of students are critical for measuring the organizational quality of the postgraduate program and also have a direct influence on academic quality. "We cannot forget that the quality and credit of a master's degree are intimately related to the quality of the students selected" (Bengoetxea-Castro & Arteaga-Ortiz, 2009).

At the global level, there is a broad agreement in the educational field about the importance of the student selection process for admission for postgraduate studies. In the United States of America, there are many analysis and meta-analysis of admission processes (Kuncel, Credé, & Thomas, 2007; Kuncel, Wee, Serafin, & Hazlett, 2010), and among the most important results the next test predict in an acceptable manner the level of the students, scientific productivity and number of citations: Graduate Record Examinations (GRE-T), Graduate Management Admission Test (GMAT) and Miller Analogies Test (MAT). Similarly, most of the countries of the European Union have made important efforts to homogenize the selection criteria in graduate programs (Davies, 2009; European University Institute [EUI], 2014; Kehm, 2006); standing out themes of equity, quality and capacity to promote mobility. Most European countries operate with a dual system in which universities have some control over admission, but within the framework of government guidelines on selection criteria (McGrath et al., 2014).

In Latin America efforts that express the attention for admission, demanded by the process of selection of applicants for postgraduate studies, have also been made. In Colombia, Colonia-Duque (2010) characterized the profile of graduate students and concluded, among other things, that there is a significant correlation between the average grades obtained in the master's program with variables such as curriculum, average undergraduate grades, interview and skills test. In Chile, they continue testing instruments capable of measuring attributes that complement indicators already used for postgraduate admission processes (Santelices et al., 2010).

In Mexico, a large number of universities use the test known as *Examen Nacional de Ingreso* (EXANI-III), proposed in 1996 by the Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior (CENEVAL), for the selection

Introducción

El propósito esencial de la evaluación de aspirantes a un programa de posgrado, generalmente, es valorar el grado en que satisfacen el perfil de ingreso y seleccionar a quienes poseen características compatibles con el programa y garanticen el éxito del mismo y el individual. "En sentido estricto, las evaluaciones de aptitud son de índole diagnóstica de capacidades o potencialidades tendientes a predecir el éxito escolar" (Ibañez, 2009). Los procedimientos y criterios de admisión y selección de estudiantes son críticos para medir la calidad organizativa del posgrado e influyen también de forma muy directa en la calidad académica. "No podemos olvidar que la calidad y reputación de un máster están íntimamente relacionadas con la calidad de los estudiantes seleccionados" (Bengoetxea-Castro & Arteaga-Ortiz, 2009).

A nivel mundial existe un amplio consenso en el campo educativo sobre la importancia del proceso de selección de estudiantes para su admisión en estudios de posgrado. En Estados Unidos de América abundan los análisis y metanálisis de los procesos de admisión (Kuncel, Credé, & Thomas, 2007; Kuncel, Wee, Serafin, & Hazlett, 2010), y entre los resultados más importantes señalan que los exámenes *Graduate Record Examinations* (GRE-T), *Graduate Management Admission Test* (GMAT) y *Miller Analogies Test* (MAT) predicen de manera aceptable la obtención del grado de los estudiantes, la productividad científica y el número de citas. Del mismo modo, la mayoría de los países que conforman la Unión Europea han realizado esfuerzos importantes para la homogeneización de los criterios de selección en los programas de posgrado (Davies, 2009; European University Institute [EUI], 2014; Kehm, 2006); sobresalen los temas de equidad, calidad y capacidad para promover la movilidad. La mayoría de los países europeos operan con un sistema dual en el cual las universidades tienen algún control sobre la admisión, pero en el marco de lineamientos gubernamentales en los criterios de selección (McGrath et al., 2014).

En América Latina también se han realizado esfuerzos que expresan la atención al ingreso, demandada por el proceso de selección de aspirantes a estudios de posgrado. En Colombia, Colonia-Duque (2010) caracterizó el perfil de estudiantes de posgrado y concluye, entre otras cosas, que existe una correlación significativa entre las calificaciones promedio obtenidas en el programa de maestría con variables como hoja de vida, promedio de calificaciones de pregrado, entrevista y prueba de aptitudes. En Chile, se continúan probando instrumentos capaces de medir atributos que complementen los indicadores ya usados para los procesos de admisión de posgrado (Santelices et al., 2010).

En México, un número amplio de universidades utiliza el *Examen Nacional de Ingreso* (EXANI-III), propuesto en 1996 por el Centro Nacional de Evaluación para la

of postgraduate students. The thematic structure of the test includes: logical-mathematical reasoning, verbal reasoning, research methodology and skills, information and communication technology (ICT) and English. However, although few studies have been carried out on the subject, it has been found that the predictive capacity of the test to obtain the master's degree in the desirable times is very low (Álvarez-Montero, Mojardín-Heráldez, & Audelo-López, 2014).

García (1995) emphasized that a characteristic of postgraduate studies in Mexico is that public institutions are much more selective than the private sector. On the other hand, there are a large number of universities that have designed their own test and selection procedure, which integrate the relevant information to select the students that meet the requirements of the admission profile; this is the case of the Master's program in Forest Sciences of the Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

The current state of the Mexican postgraduate study system is largely explained by the national policy conducted by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) through the program known as Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC), which has been executed since 1991 (Adalid & de Urdanivia, 2011). Admission to this program is an important condition for the existence and development of postgraduate programs, especially those in public education. Admission is achieved through participation and approval of a set of indicators included in the three stages of the established evaluation model: self-evaluation, peer evaluation, and results and impact assessment (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2013). In this process, the selection of applicants for postgraduate programs is a stage that can facilitate the achievement of quality indicators if done properly, which are vital to enter or remain in the PNPC.

The objective of this research was to determine the combination weighting-aggregation that generates an index for the selection of applicants and is the most compatible with the criteria of the master's program. For this purpose, we used information from 19 applicants in the year 2015. The combination of different weighting methods with different aggregation methods has been addressed in a very limited way. The literature reports few cases, specifically, within the framework of composite indices (Chakrabarty & Bhattacharjee, 2012). On the other hand, although the issue of selection in decision-making is quite broad and has been approached from different angles, no specific studies are known that analyzes combinations of weighting methods with aggregation methods in decisions related to selection.

Educación Superior (CENEVAL), para la selección de estudiantes de posgrado. La estructura temática del examen incluye: razonamiento lógico-matemático, razonamiento verbal, metodología y habilidades para la investigación, tecnologías de información para la comunicación (TIC) e inglés. No obstante, aunque se han realizado pocos estudios sobre el tema, se ha encontrado que la capacidad predictiva del examen para la obtención del grado de maestría en los tiempos deseables es muy baja (Álvarez-Montero, Mojardín-Heráldez, & Audelo-López, 2014).

García (1995) destacó que una característica de los estudios de posgrado del país es que las instituciones de carácter público son mucho más selectivas que sus contrapartes del sector privado. Por otra parte, hay un número importante de universidades que han diseñado su propio examen y procedimiento de selección, las cuales integran la información relevante para escoger a los estudiantes que reúnan los requisitos del perfil de ingreso; este es el caso del programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

El estado actual del sistema de estudios de posgrado mexicano se explica en gran medida por la política nacional conducida por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) mediante el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC), misma que se ha ejercido a partir de 1991 (Adalid & de Urdanivia, 2011). La pertenencia a dicho programa es una condición importante para la existencia y desarrollo de los posgrados, principalmente los de educación pública. La pertenencia se consigue mediante la participación y aprobación de un conjunto de indicadores contemplados en las tres etapas del modelo de evaluación establecido: autoevaluación, evaluación de pares y la evaluación de resultados e impacto (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2013). En este proceso, la selección de los aspirantes al posgrado es una etapa que puede facilitar el logro de indicadores de calidad si se realiza apropiadamente, mismos que son de vital importancia para ingresar o permanecer en el PNPC.

Bajo este marco, el objetivo de la investigación fue determinar la combinación ponderación-agregación que genere un índice para la selección de aspirantes y sea el más compatible con los criterios del programa de la maestría. Para el propósito se usó la información de 19 solicitantes en el año 2015. La combinación de distintos métodos de ponderación con diferentes métodos de agregación ha sido abordada de manera muy limitada. La literatura reporta pocos casos, específicamente, en el marco de los índices compuestos (Chakrabarty & Bhattacharjee, 2012). Por otra parte, aunque el tema de la selección en el marco de la toma de decisiones es bastante amplio y

Materials and methods

We used two methods of weighting of the criteria and sub-criteria: Point Allocation Method (PAM) and Analytical Hierarchical Process (AHP). The results of both subjective weightings were used to estimate the classification of the 19 students using the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and the Weighted Summarize Method (WSM), resulting in four combinations: TOPSIS-PAM, TOPSIS-AHP, WSM-PAM and WSM-AHP. Subsequently, the Pareto Analysis was used to determine the most compatible combination with the criteria of the program and, consequently, with the best selection of applicants.

Evaluation and selection model for applicants for the Master's program in Forest Science at the Universidad Autónoma Chapingo

The selection of applicants is conducted by the Coordination of Postgraduate Studies of the program, which is composed by a Coordinator and four members, all of the faculty members. Accepted applicants are those whose overall score is equal to or greater than 80. The selection process looks at three criteria: knowledge, experience and personality. Each criterion comprises different sub-criteria (Figure 1) evaluated on a scale from 0 to 100.

se ha abordado desde distintas aristas, no se conocen trabajos específicos que analicen combinaciones de métodos de ponderación con agregación en decisiones relacionadas con la selección.

Materiales y métodos

Se utilizaron dos métodos de ponderación de los criterios y subcriterios: Método de Asignación de Puntos (MAP) y Proceso Jerárquico Analítico (PJA). Los resultados de ambas ponderaciones subjetivas se utilizaron para estimar la clasificación de los 19 estudiantes mediante los métodos *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) y el Método Suma Ponderada (MSP), resultando cuatro combinaciones: TOPSIS-MAP, TOPSIS-PJA, MSP-MAP y MSP-PJA. Posteriormente, la técnica de ordenamiento de Pareto se aplicó para determinar la combinación más compatible con los criterios del programa y, en consecuencia, con la mejor selección de aspirantes.

Modelo de evaluación y selección de aspirantes en la Maestría en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo

La selección de los aspirantes es conducida por la Coordinación de Estudios de Posgrado del programa, la cual se integra por un Coordinador y cuatro Vocales,

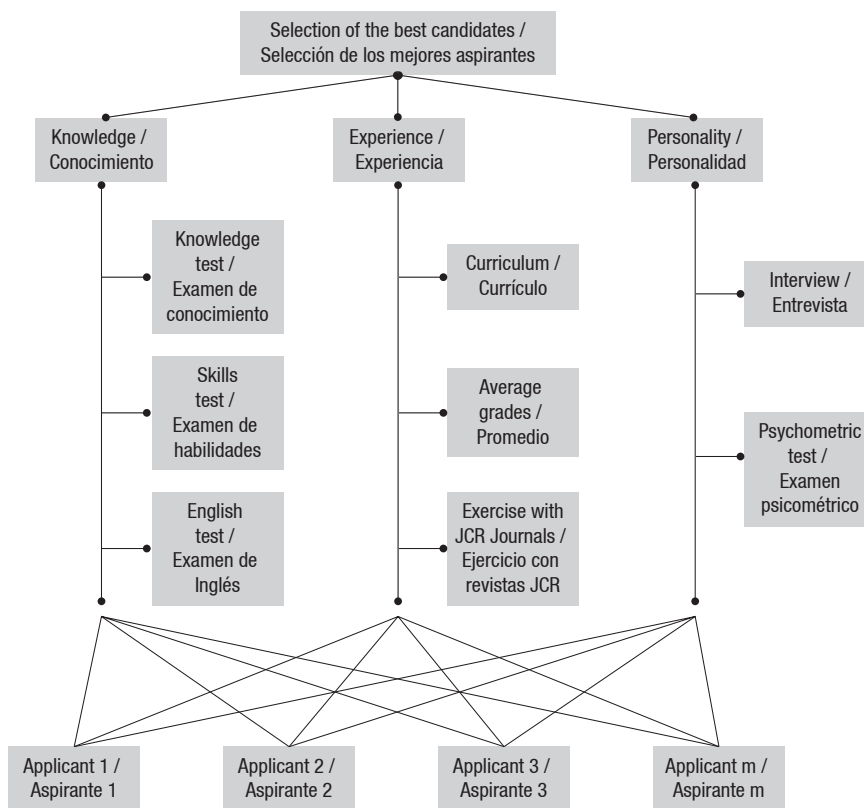


Figura 1. Components of the model of selection for applicants for the Master's Degree in Forest Sciences at Universidad Autónoma Chapingo. JCR: Journal Citation Reports.

Figura 1. Componentes del modelo de selección de los aspirantes al posgrado de la Maestría en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. JCR: Journal Citation Reports.

Knowledge includes the following sub-criteria:

1. Knowledge test. It is a written test consisting of 20 questions; 15 are related to Forest Sciences and five with other areas of interest
2. Skills test. Written test to identify aspiring skills in the areas of math, logic, and research. This test has four sections: the first relates to questions related to verbal reasoning, the second deals with mathematical aspects, the third relates to the approach of solving problems and the latter concerns research skills. Each section is composed of 10 questions.
3. English language diagnostic test. It is applied to know the English level of the aspirants, in order to, after being accepted, identify the needs of courses for the good performance in the reading and understanding of the literature of support in courses and research. Generally, this test is a version of the Test of English as a Foreign Language (TOEFL) applied by the University's Language Department. The raw score of each section is converted by statistical means into a number; the total score of the test is reported on a scale from 310 to 677. Grades were converted on the scale from 0 to 100, using the technique of rank normalization.

Experience includes the following sub-criteria:

4. Curriculum. The background and professional experience of the applicant, are qualified through the documentary evidence.
5. Average of the previous grade. The minimum average should be 80 points on the scale from 0 to 100.
6. Practical skills for research and exercise of synthesis and understanding. This task consists of searching for five scientific articles published in indexed journals, preferably included in JCR (Journal Citation Reports). Articles must be related to the research topic proposed by the applicant; two in Spanish and three in English. Applicants should summarize on a page the content of each article correlatively with their research topic and deliver within a period of five business days.

Personality groups the two remaining sub-criteria:

7. Interview with the Coordinator of the program. The interview is conducted in two phases. In the first one, a questionnaire is given to each applicant, containing 16 questions related to the following subjects: personal objectives to study this Master's program, research and teaching concerns, knowledge of the academic staff of the program and knowledge of other similar options of study. The second phase consists of direct interview with the members of the Coordination, who ask about aspects addressed in the questionnaire of the first stage and other pertinent questions, to obtain good results in the program.

todos miembros de la planta académica. Los aspirantes aceptados son aquellos cuya calificación global es igual o mayor que 80. El proceso de selección considera tres criterios: conocimientos, experiencia y personalidad. Cada criterio comprende a su vez distintos subcriterios (Figura 1) valorados en una escala de 0 al 100.

En el criterio conocimientos se incluyen los siguientes subcriterios:

1. Examen de conocimientos. Es un examen escrito que consta de 20 preguntas; 15 están relacionadas con las Ciencias Forestales y cinco con otras áreas de interés.
2. Examen de habilidades. Examen escrito para identificar las habilidades de los aspirantes en las áreas de matemática, lógica e investigación. El examen tiene cuatro secciones: la primera se refiere a preguntas relacionadas con el razonamiento verbal, la segunda trata aspectos matemáticos, la tercera se relaciona con el planteamiento en resolución de problemas y la última se refiere a las habilidades en investigación. Cada sección se integra de 10 preguntas.
3. Examen de diagnóstico del idioma inglés. Se aplica con el fin de conocer el nivel que los aspirantes tienen para, luego de ser aceptados, identificar las necesidades de cursos para el buen desempeño en la lectura y comprensión de la literatura de apoyo en cursos e investigación. Generalmente, el examen es una versión del *Test of English as a Foreign Language* (TOEFL) aplicado por el Departamento de Idiomas de la universidad. La calificación bruta de cada sección se convierte por medios estadísticos en un número; la calificación total del examen en papel se informa en una escala de 310 a 677. Las calificaciones se convirtieron a la escala del 0 al 100, utilizando la técnica de normalización por rango.

El criterio experiencia comprende los siguientes subcriterios:

4. Currículo. Se califican los antecedentes y experiencia profesional del aspirante, a través de los documentos probatorios.
5. Promedio del grado anterior. El promedio mínimo debe ser 80 puntos en la escala de 0 a 100.
6. Habilidades prácticas para la investigación y ejercicio de síntesis y comprensión. Esta tarea consiste en buscar cinco artículos científicos publicados en revistas indexadas, de preferencia incluidas en JCR (Journal Citation Reports). Los artículos deben estar relacionados con el tema de investigación propuesto por el aspirante; dos pueden ser en español y tres en inglés. Los aspirantes deben resumir el contenido de cada artículo correlativamente con su tema de investigación en una cuartilla y entregar en un periodo de cinco días hábiles.

8. Psychometric test. This test is applied by psychology professionals at the university. The results are confidential and are expressed in three categories: fit, moderately fit and unfit, to which the grades of 100, 80 and 66, respectively, are assigned.

Weighting methods

The PAM consists in giving the set of criteria to be weighed to a group of experts and they are asked to distribute 100 points between the set of criteria and subcriterios considered. All this is based on experience and subjective judgment on the importance of each criterion (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2008).

The method AHP uses paired comparisons to analyze alternatives, but also, as in this case, is used to estimate the weightings of the criteria. Comparisons are based on expert judgment to derive priority scales (Saaty & Vargas, 2012). One of the disadvantages is that, due to paired comparisons, inconsistencies can occur in the judgments expressed by the experts when classifying the criteria, especially when they are many criteria (Velásquez & Hester, 2013); however, an *ad hoc* modification of the Saaty and Vargas method (2012) can avoid them. On the other hand, one of the advantages of the method is the easy use to derive weightings of coefficients and compare the alternatives. Comparisons are made by pairs of criteria, proposing the following questions: Which of the two criteria is the most important? and How many times? The strength of the preference is expressed on a scale of 1 to 9, which allows measurement within the same order of magnitude. The preference of 1 indicates equality of importance between two criteria, while a preference of 9 indicates that a criterion is extremely more important than that with which it is compared (Table 1). The information obtained was processed using the program Expert Choice Desktop 11.5.1860 (Expert Choice Inc., 2014).

Aggregation methods

The TOPSIS method is commonly used in multi-criteria decision analysis. In general, the method consists of estimating a positive ideal point and a negative ideal point. The positive ideal point corresponds to a supposed alternative, from the best values reached in each one of the attributes (criteria) of the set of alternatives analyzed. The negative ideal point, on the other hand, corresponds to another supposed alternative containing the worst values obtained in each of the same criteria. Once these references are developed, the weighted distances of each alternative to the best and worst alternative are estimated and their classification is defined (Pavić & Novoselac, 2013; Wang & Xiao, 2011). The basic principle of the method is that the selected alternative must have the shortest distance of the positive ideal solution

El criterio personalidad agrupa los dos subcriterios restantes:

7. Entrevista con la Coordinación del programa. La entrevista se realiza en dos etapas. En la primera, se entrega a cada aspirante un cuestionario que contiene 16 preguntas relacionadas con los siguientes temas: objetivos personales para estudiar la maestría en el programa, inquietudes de investigación y docencia, conocimiento del personal académico del programa y conocimiento sobre otras opciones similares de estudio. La segunda etapa consiste en la entrevista directa con los integrantes de la Coordinación, quienes abundan sobre los aspectos abordados en el cuestionario de la primera etapa y otros pertinentes, para obtener buenos resultados en el programa.
8. Examen psicométrico. Este examen se aplica por profesionales de la psicología en la universidad. Los resultados son confidenciales y se expresan en tres categorías: apto, medianamente apto y no apto, a las cuales se asignan las calificaciones 100, 80 y 66, respectivamente.

Métodos de ponderación

El MAP consiste en dar el conjunto de criterios a ponderar a un grupo de expertos y se les pide que distribuyan 100 puntos entre el conjunto de criterios y subcriterios considerados. Todo esto basado en la experiencia y el juicio subjetivo sobre la importancia de cada criterio (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2008).

El método PJA usa comparaciones pareadas para analizar alternativas, pero también, como en este caso, se usa para estimar los pesos de los criterios. Las comparaciones se basan en el juicio de expertos para derivar escalas de prioridad (Saaty & Vargas, 2012). Una de las desventajas es que, debido a las comparaciones pareadas, pueden ocurrir inconsistencias en los juicios expresados por los expertos al clasificar los criterios, sobre todo cuando son muchos (Velásquez & Hester, 2013); no obstante, una modificación *ad hoc* del método de Saaty y Vargas (2012) puede evitarlas. Por otra parte, una de las ventajas del método es el fácil uso para derivar los pesos de los coeficientes y comparar las alternativas. Las comparaciones son realizadas por pares de criterios, planteando las siguientes preguntas: ¿Cuál de los dos criterios es el más importante? y ¿Por cuántas veces? La fortaleza de la preferencia es expresada en una escala de 1 a 9, lo que permite la medida dentro del mismo orden de magnitud. La preferencia de 1 indica igualdad de importancia entre dos criterios, mientras que una preferencia de 9 indica que un criterio es extremadamente más importante que aquel con el que es comparado (Cuadro 1). La información obtenida se

Table 1. Saaty and Vargas Scale (2012) to estimate the priority of the criteria used in the selection of postgraduate candidates.**Cuadro 1. Escala de Saaty y Vargas (2012) para estimar la prioridad de los criterios utilizados en la selección de aspirantes al posgrado.**

Value/Valor	Definition/Definición	Comment/Observación
1	Equal importance/ Igual importancia	Criterion 1 is just as important as criterion 2/ El criterio 1 es igual de importante que el criterio 2.
3	Moderate importance/ Importancia moderada	Experience and judgment slightly favor criterion 1 over 2/ La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio 1 sobre el 2
5	Strong importance/ Importancia fuerte	Experience and judgment strongly favor criterion 1 over 2/ La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio 1 sobre el 2
7	Very strong importance/ Importancia muy fuerte	Criterion 1 is more important than criterion 2/ El criterio 1 es mucho más importante que el criterio 2
9	Extremely important/ Importancia extrema	The greater importance of criterion 1 over criterion 2 is beyond doubt/ La mayor importancia del criterio 1 sobre el criterio 2 está fuera de duda
2, 4, 6 and 8	Intermediate values between the previous ones, when it is necessary to qualify/ Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar.	

and the farthest distance of the non-ideal solution, in a geometrical sense.

The method assumes that each attribute has monotonically increasing or decreasing utility. This facilitates the task of locating ideal solutions (positive and negative). Thus, the preference order of the alternatives is produced by comparing Euclidean distances (San Cristóbal, 2012).

Assuming that there is a set of alternatives $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, qualified by a set of criteria $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ the decision matrix $X = [X_{ij}]_{m \times n}$ is formed. From n criteria, the first k are assumed positive (higher value, better) and the last $n-k$ are assumed negative (lower value, better). The development of the method is described below.

1. The normalized matrix is constructed by replacing each x_{ij} value by its normalized value (r_{ij}) using the following formula:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

2. The weighted matrix is constructed by replacing each r_{ij} by its weighted value (a_{ij}) using the corresponding weightings established (w_j) using the following formula:

$$a_{ij} = w_j r_{ij} = w_j \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

3. The best a_j^+ values are selected to establish the positive ideal alternative $A^+ = (a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+)$ using the following procedure:

$$a_j^+ = \begin{cases} \max_i a_{ij}, & j = 1, \dots, k \\ \min_i a_{ij}, & j = k + 1, \dots, n \end{cases}$$

procesó con el programa *Expert Choice Desktop* 11.5.1860 (Expert Choice Inc., 2014).

Métodos de agregación

El método TOPSIS es de uso común en el análisis de decisiones multicriterio. De manera general, el método consiste en estimar un punto positivo ideal y otro punto negativo ideal. El punto positivo ideal corresponde a una alternativa supuesta, construida a partir de los mejores valores alcanzados en cada uno de los atributos (criterios) del conjunto de las alternativas analizadas. El punto negativo ideal, por el contrario, corresponde a otra alternativa supuesta que contiene los peores valores obtenidos en cada uno de los mismos criterios. Una vez construidas estas referencias, se estiman las distancias ponderadas de cada alternativa a la mejor y peor alternativa establecida y se define su clasificación (Pavić & Novoselac, 2013; Wang & Xiao, 2011). El principio básico del método es que la alternativa seleccionada debe tener la distancia más corta de la solución ideal positiva y la distancia más lejana de la solución antideal, en un sentido geométrico.

El método asume que cada atributo tiene utilidad monótonicamente creciente o decreciente. Esto facilita la tarea de localizar las soluciones ideales (positiva y negativa). De este modo, el orden de preferencias de las alternativas es producido mediante la comparación de distancias euclidianas (San Cristóbal, 2012).

Asumiendo que existe un conjunto de alternativas $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, calificadas por un conjunto de criterios $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ se conforma la matriz de decisión $X = [X_{ij}]_{m \times n}$. De n criterios, los primeros k se asumen positivos (mayor valor, mejor) y los últimos $n-k$ se

The minimum components of this positive ideal alternative correspond to criteria to be minimized.

4. Similarly, the negative ideal alternative $A^-=(a_1^-,a_2^-,...,a_n^-)$ is established, where each a_j^- is selected using the following formula:

$$a_j^+ = \begin{cases} \min_i a_{ij}, j = 1, \dots, k \\ \max_i a_{ij}, j = k + 1, \dots, n \end{cases}$$

The maximum components in this alternative correspond to criteria to be maximized.

5. The vector of distances $D^+ = (d_1^+, d_2^+, \dots, d_m^+)^T$ to the alternative A^+ is estimated by:

$$d_i^+ = d(A_i, A^+) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_j^+)^2}$$

6. Similarly, the distances $D^- = (d_1^-, d_2^-, \dots, d_m^-)^T$ to the alternative A^- were estimated with the following formula:

$$d_i^- = d(A_i, A^-) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_j^-)^2}$$

7. Finally, the relative distances $D^* = (d_1^*, d_2^*, \dots, d_m^*)^T$ of the alternatives A_i to the points A^+ and A^- were estimated with the following formula:

$$D_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} = \frac{d(A_i, A^-)}{d(A_i, A^+) + d(A_i, A^-)}$$

The highest D_i^* value indicates the best alternative and the lowest value is the worst alternative.

The WSM, also known as a weighted linear combination or classification, shows how the values of the multiple criteria options can be combined into a global value. This is done by multiplying the score of the value of each criterion by the weight of that criterion and then adding all those weighted grades; that is to say:

$$A_i = \sum w_j x_{ij}$$

where x_{ij} is the recorded value of alternative i with respect to criterion j , and w_j is the criterion weighting (Afshari, Mojahed, & Yuseff, 2010). This method clearly demonstrates the main concept of multi-criteria evaluation methods: the integration of the values and weightings of the criteria into a single magnitude (Podvezko, 2011). The condition of application of the method is that the criteria must be independent of each other. This method is one of the most frequently used in the multi-criteria approach (Paracchini, Pacini, Calvo, & Vogth, 2007).

Standardization

The range standardization technique was used in order to convert the data generated by each weighting-

asumen negativos (menor valor, mejor). El desarrollo del método se describe a continuación.

1. La matriz normalizada se construye sustituyendo cada valor x_{ij} por su valor normalizado (r_{ij}) mediante la fórmula:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

2. La matriz ponderada se construye sustituyendo cada r_{ij} por su valor ponderado (a_{ij}) utilizando los pesos correspondientes establecidos (w_j) mediante la fórmula:

$$a_{ij} = w_j r_{ij} = w_j \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

3. Los mejores valores a_j^+ se seleccionan para establecer la alternativa ideal positiva $A^+=(a_1^+,a_2^+,...,a_n^+)$ mediante el siguiente procedimiento:

$$a_j^+ = \begin{cases} \max_i a_{ij}, j = 1, \dots, k \\ \min_i a_{ij}, j = k + 1, \dots, n \end{cases}$$

Los componentes mínimos de esta alternativa ideal positiva corresponden a criterios a ser minimizados.

4. De manera semejante se establece la alternativa ideal negativa $A^-=(a_1^-,a_2^-,...,a_n^-)$ donde cada a_j^- se selecciona utilizando la fórmula:

$$a_j^- = \begin{cases} \min_i a_{ij}, j = 1, \dots, k \\ \max_i a_{ij}, j = k + 1, \dots, n \end{cases}$$

Los componentes máximos en esta alternativa corresponden a criterios a ser maximizados.

5. El vector de distancias $D^+ = (d_1^+, d_2^+, \dots, d_m^+)^T$ a la alternativa A^+ se estima mediante:

$$d_i^+ = d(A_i, A^+) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_j^+)^2}$$

6. Similarmente, las distancias $D^- = (d_1^-, d_2^-, \dots, d_m^-)^T$ a la alternativa A^- se calculan mediante:

$$d_i^- = d(A_i, A^-) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_j^-)^2}$$

7. Finalmente, las distancias relativas $D^* = (d_1^*, d_2^*, \dots, d_m^*)^T$ de las alternativas A_i a los puntos A^+ y A^- se calculan con la siguiente fórmula:

$$D_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} = \frac{d(A_i, A^-)}{d(A_i, A^+) + d(A_i, A^-)}$$

El mayor valor D_i^* señala la mejor alternativa y el menor valor es la peor alternativa.

aggregation combination to the 0-1 scale using the following equation (Aznar-Bellver & Guijarro-Martínez, 2012):

$$x_{ij} \text{ standardized} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}$$

The interval of the standardized values is $0 \leq x_{ij} \leq 1$. In this standardization procedure, the element of minimum qualification always takes value 0 and the one of maximum takes value 1.

Pareto order

The use of Pareto order in the classification of results, via indexes (classifiers), was proposed by Chakrabarty and Bhattacharjee (2012). We consider $p = 4$ classifiers, which result from the two weighting methods and the two methods of aggregation. In this study it was classified by the estimation of the following expressions:

$$d_i = (\epsilon_i^j - \epsilon_i^k)^2 \quad j \neq k, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad k, j = 1, 2, \dots, p,$$

$$d_j = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{k=1}^{k=p} d_i^{jk},$$

$$\bar{d}_j = \frac{d_j}{p-1}$$

where,

d_i^{jk} = square of the difference of the classifications of the applicant (alternative) i , obtained by classifiers j and k ($j \neq k; j, k = 1, 2, \dots, p$)

ϵ_i^j = classification of the applicant i ($i = 1, 2, \dots, m$) by the classifier j ($j = 1, 2, \dots, p$)

d_j = total distance of the classifier j ($j = 1, 2, \dots, p$)

\bar{d}_j = average distance of the classifier j ($j = 1, 2, \dots, p$) with respect to the other methods.

The method that has the lowest mean distance value is the one that is identified as the most compatible for the criteria used.

Results and discussion

The grades of the applicants in the selection and evaluation process, per subcriterion, are shown in Table 2. As expected, the resulting grades express conflict between the different sub-criteria considered; namely, generally, each criterion points out different alternatives (applicants) as the best. Likewise, it is observed that practically all the applicants obtained acceptable grades on the knowledge test, while the lower grades of some applicants were obtained on the skills and English tests.

El MSP, conocido también como combinación lineal ponderada o de clasificación, muestra cómo los valores de las opciones de los múltiples criterios se pueden combinar en un valor global. Esto se hace multiplicando la puntuación del valor de cada criterio por el peso de ese criterio y luego se añaden todos esos puntajes ponderados; es decir::

$$A_i = \sum w_j x_{ij}$$

donde x_{ij} es el valor registrado de la alternativa i con respecto al criterio j , y w_j es la ponderación del criterio (Afshari, Mojahed, & Yuseff, 2010). En este método se demuestra claramente el concepto principal de los métodos de evaluación multicriterio: la integración de los valores y pesos de los criterios en una sola magnitud (Podvezko, 2011). La condición de aplicación del método es que los criterios deben ser independientes entre sí. Este método es uno de los utilizados con mayor frecuencia en el enfoque multicriterio (Paracchini, Pacini, Calvo, & Vogth, 2007).

Normalización

La técnica de normalización por rango se utilizó con la finalidad de convertir los datos generados por cada combinación ponderación-agregación a la escala 0-1 mediante la siguiente ecuación (Aznar-Bellver & Guijarro-Martínez, 2012):

$$x_{ij} \text{ normalizado} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}$$

El intervalo de los valores normalizados es $0 \leq x_{ij} \leq 1$. En este procedimiento de normalización, el elemento de mínima calificación siempre toma el valor 0 y el de máxima toma el valor 1.

Ordenamiento de Pareto

La utilización del ordenamiento de Pareto en la clasificación de resultados, vía índices (clasificadores), fue propuesta por Chakrabarty y Bhattacharjee (2012). Se consideran $p = 4$ clasificadores, que resultan de los dos métodos de ponderación y los dos métodos de agregación. En el presente trabajo se clasificó mediante el cálculo de las siguientes expresiones::

$$d_i = (\epsilon_i^j - \epsilon_i^k)^2 \quad j \neq k, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad k, j = 1, 2, \dots, p,$$

$$d_j = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{k=1}^{k=p} d_i^{jk},$$

$$\bar{d}_j = \frac{d_j}{p-1}$$

donde,

d_i^{jk} = cuadrado de la diferencia de las clasificaciones del aspirante (alternativa) i , obtenidas por los clasificadores j

Table 2. Grades obtained by the applicants for the Master program in Forest Science at Universidad Autónoma Chapingo.

Cuadro 2. Calificaciones obtenidas por los aspirantes al programa de Maestría en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

Applicant/ Aspirante	Knowledge/ Conocimiento			Curr	Experience/ Experiencia		Personality/ Personalidad	
	EC	EH	EI		Average/ Promedio	JCR	Interv/ Entrev	Psychom/ Psicom
1	85	93	0	78	80	60	65	80
2	90	60	9	82	80	90	90	100
3	70	75	50	84	85	85	70	100
4	85	48	25	85	88	80	89	80
5	85	78	17	86	89	70	79	80
6	80	73	26	82	86	50	73	80
7	90	63	71	78	82	65	73	100
8	85	53	79	83	81	92	69	80
9	70	78	39	84	86	74	68	66
10	85	70	99	82	85	88	88	66
11	70	63	70	80	86	90	90	80
12	75	73	100	88	90	60	83	80
13	90	88	50	80	84	76	76	100
14	80	58	100	84	88	75	84	80
15	85	78	91	80	81	88	92	80
16	90	80	57	86	84	40	85	80
17	80	65	82	82	82	70	89	80
18	80	73	97	90	95	78	78	80
19	80	50	100	84	87	90	75	80

EC = knowledge test, EH = skills test, EI = English test, Curr = curriculum, Average = average, JCR = review of article published in a journal recognized in the Journal Citation Reports, Interv = interview, Psicom = psychometric test.

EC = examen de conocimientos, EH = examen de habilidades, EI = examen de inglés, Curr = currículo, Prom = promedio, JCR = revisión de artículo publicado en revista reconocida en el Journal Citation Reports, Entrev = entrevista, Psicom = examen psicométrico.

The weighting of criteria and sub-criteria was collected through a survey designed especially for the experts, who have been or are members of the Coordination of Postgraduate Studies in which the selection of applicants was made, which guarantees the experience in the selection process. The results obtained by the AHP and PAM method (Table 3) show significant disparities in the weighting of the criteria and sub-criteria. The case of the sub-criteria knowledge test, to which the weighting method of AHP assigned twice the weight compared to the PAM method. Another case that calls attention is the sub-criteria interview of the Coordination, to which PAM assigns a weight 3.5 times greater than AHP.

The application of the two aggregation methods, TOPSIS and WSM, using in each case the two weightings, PAM and AHP, resulted in four weighting-aggregation combinations. Table 4 shows the values for the 19 candidates evaluated.

The values generated by each combination of methods were converted to scale 0-100, using the standardization

$y^k (j \neq k; j, k = 1, 2, \dots, p)$

ϵ_i^j = clasificación del aspirante i ($i = 1, 2, \dots, m$) por el clasificador j ($j = 1, 2, \dots, p$)

d_j = distancia total del clasificador j ($j = 1, 2, \dots, p$)

d_j = distancia promedio del clasificador j ($j = 1, 2, \dots, p$) con respecto a los otros métodos.

El método que presente el menor valor de distancia media es el que se identifica como el más compatible para los criterios usados.

Resultados y discusión

Las calificaciones de los aspirantes en el proceso de selección y evaluación, por subcriterio, se muestran en el Cuadro 2. Como era de esperar, las calificaciones resultantes expresan conflicto entre los distintos subcriterios considerados; es decir, generalmente, cada criterio señala distintas alternativas (aspirantes) como mejores. Del mismo modo, se observa que prácticamente todos los aspirantes tuvieron calificaciones aceptables

Table 3. Weightings of the analytical hierarchical process (AHP) and the point allocation method (PAM) in the selection of applicants for the Master's program in Forest Sciences of the Universidad Autónoma Chapingo.**Cuadro 3. Ponderaciones del proceso jerárquico analítico (PJA) y del método de asignación de puntos (MAP) en la selección de aspirantes al programa de Maestría en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.**

Criterio/ Criterio	Sub-criterio/ Subcriterio	Weighing AHP/Ponderación PJA			Weighing PAM/Ponderación MAP		
		Criterio/ Criterio	Sub-criterio/ Subcriterio	Final	Criterio/ Criterio	Sub-criterio/ Subcriterio	Final
Knowledge/ Conocimiento	Knowledge test/ Examen conocimientos	0.76	56.30	42.49	0.47	45.00	21.38
	Skills test/ Examen habilidades		30.70	23.16		31.25	14.84
	English test/ Examen inglés		13.10	9.86		23.75	11.28
Experience/ Experiencia	Curriculum vitae	0.18	22.50	4.00	0.25	35.00	8.75
	Average grades/ Promedio calificaciones		65.90	11.72		43.75	10.94
	JCR exercise/ Ejercicio JCR		11.70	2.08		21.25	5.31
Personality/ Personalidad	Cordination interview/ Entrevista coordinación	0.07	86.30	5.78	0.27	73.75	20.28
	Psychometric test/ Examen psicométrico		13.70	0.92		26.25	7.22

JCR: Journal Citation Reports

Table 4. Values obtained in the four combinations of weighting-aggregation methods used in the selection of applicants for the Master's Program in Forest Sciences of the Universidad Autónoma Chapingo.**Cuadro 4. Valores obtenidos en las cuatro combinaciones de métodos ponderación-agregación utilizadas en la selección de aspirantes al programa de Maestría en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.**

Applicant/Aspirante	TOPSIS-AHP/ TOPSIS-PJA	TOPSIS-PAM/ TOPSIS-MAP	WSM-AHP/ MSP-PJA	WSM-PAM/ MSP-MAP
1	0.5323(48)	0.3670(4)	0.0511(36)	0.0465(0)
2	0.4030(18)	0.3740(6)	0.0491(17)	0.0499(29)
3	0.4539(30)	0.4814(29)	0.0494(20)	0.0505(33)
4	0.3239(0)	0.3625(3)	0.0473(0)	0.0487(18)
5	0.4973(40)	0.3873(9)	0.0515(39)	0.0497(27)
6	0.4337(25)	0.3482(0)	0.0491(17)	0.0473(7)
7	0.5831(60)	0.5871(53)	0.0539(62)	0.0530(54)
8	0.4953(40)	0.5544(45)	0.0516(40)	0.0517(43)
9	0.4405(27)	0.4095(14)	0.0485(12)	0.0475(9)
10	0.6894(85)	0.7530(89)	0.0572(93)	0.0575(92)
11	0.4307(25)	0.5856(52)	0.0495(21)	0.0528(52)
12	0.6196(68)	0.7234(83)	0.0550(73)	0.0562(80)
13	0.7098(89)	0.5954(54)	0.0570(92)	0.0549(70)
14	0.5541(53)	0.6773(72)	0.0538(62)	0.0556(75)
15	0.7556(100)	0.8022(100)	0.0579(100)	0.0585(100)
16	0.6900(85)	0.6103(58)	0.0561(83)	0.0539(62)
17	0.5640(56)	0.6701(71)	0.0532(56)	0.0546(67)
18	0.6727(81)	0.7342(85)	0.0567(89)	0.0571(88)
19	0.5031(42)	0.6190(60)	0.0522(47)	0.0540(62)

TOPSIS: Technique for order of preference by similarity to ideal solution, AHP: Analytical hierarchical process, PAM: Point allocation method, WSM: weighted sum method. Values in parentheses converted to scale 0-100.

TOPSIS: *Technique for order of preference by similarity to ideal solution*, PJA: Proceso jerárquico analítico, MAP: Método de asignación de puntos, MSP: método suma ponderada. Valores entre paréntesis convertidos a la escala 0-100.

technique by ranking (Table 4, values in parentheses), which allowed to identify the applicants that reached or surpassed 80 points in the global qualification. In this way, we find that combinations TOPSIS-AHP and WSM-AHP assign to five applicants a score greater than or equal to 80, while with TOPSIS-PAM and WSM-PAM only to four applicants were assigned (Table 5).

In this analysis it is emphasized that the four combinations include three applicants in their selection; 10, 15 and 18. The applicant number 15 is the one that best satisfies the admission profile since he appears in the first place of the four selections. The second applicant is the number 10, as he appears in second place in three selections and fourth in the other, while applicant number 18 is included in different orders (Table 5). Another important result is the fact that combinations TOPSIS-AHP and WSM-AHP select the same applicants, but in different order. Similarly, combinations TOPSIS-PAM and WSM-PAM select the same applicants, but in exactly the same order.

Pareto order as a technique to identify the weighting-aggregation combination most compatible with the criteria used, according to the total distance or calculated average distance, shows that the aggregation method WSM-AHP has the minimum average distance (Table 6). This method should be considered as the most compatible with the other three built based on the criteria included.

The fact that the resulting combination is WSM-AHP has the advantage that the aggregation method WSM is easy to apply. On the other hand, the weighting method AHP could present difficulties of operation if the number of criteria to be weighed is increased; however, this possible limitation has not affected the results obtained in the present study.

en el examen de conocimientos, mientras que las calificaciones más bajas de algunos se obtuvieron en los exámenes de habilidades e inglés.

La ponderación de criterios y subcriterios se colectó mediante una encuesta diseñada especialmente para los expertos, quienes han sido o son integrantes de la Coordinación de Estudios de Posgrado, en el que se realizó la selección de aspirantes, lo cual garantiza la experiencia en el proceso de selección. Los resultados obtenidos mediante el método PJA y MAP (Cuadro 3) presentan disparidades significativas en la ponderación de los criterios y subcriterios. Sobresale el caso del subcriterio examen de conocimientos, al cual el método de ponderación PJA asignó el doble del peso que el método MAP. Otro caso que llama la atención es el del subcriterio entrevista de la Coordinación, al cual MAP asigna un peso 3.5 veces mayor que PJA.

La aplicación de los dos métodos de agregación, TOPSIS y MSP, utilizando en cada caso las dos ponderaciones, MAP y PJA, resultó en cuatro combinaciones ponderación-agregación. El Cuadro 4 muestra los valores para los 19 aspirantes evaluados.

Los valores generados por cada combinación de métodos se convirtieron a la escala 0-100, mediante la técnica de normalización por rango (Cuadro 4, valores entre paréntesis), lo cual permitió identificar a los aspirantes que alcanzaron o superaron 80 puntos en la calificación global. De este modo, encontramos que las combinaciones TOPSIS-PJA y MSP-PJA asignan a cinco aspirantes una calificación mayor o igual a 80, mientras que con TOPSIS-MAP y MSP-MAP solo se asignaron a cuatro (Cuadro 5).

En el análisis sobresale que las cuatro combinaciones incluyen en su selección a tres aspirantes; 10, 15 y 18. El

Table 5. Selection of the best candidates for the Master's program in Forest Sciences of the Universidad Autónoma Chapingo, according to a combination of weighting-aggregation methods.

Cuadro 5. Selección de los mejores aspirantes al programa de Maestría en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, según combinación de métodos de ponderación-agregación.

Classification/ Clasificación	Applicant/method / Aspirante/método			
	TOPSIS-AHP/ TOPSIS-PJA	TOPSIS-PAM/ TOPSIS-PJA	WSM-AHP/ MSP-PJA	WSM-PAM/ MSP-MAP
1	15	15	15	15
2	13	10	10	10
3	16	18	13	18
4	10	12	18	12
5	18	-	16	-

TOPSIS: Technique for order of preference by similarity to ideal solution, AHP: Analytical hierarchical process, PAM: Point allocation method, WSM: weighted sum method.
TOPSIS: *Technique for order of preference by similarity to ideal solution*, PJA: Proceso jerárquico analítico, MAP: Método de asignación de puntos, MSP: Método suma ponderada.

Table 6. Total distances and averages, according to the weighting-aggregation method, for the identification of the combination most compatible with the criteria evaluated in the selection of applicants for the Master's program in Forest Sciences of the Universidad Autónoma Chapingo.

Cuadro 6. Distancias totales y promedios, según método ponderación-agregación, para la identificación de la combinación más compatible con los criterios evaluados en la selección de aspirantes al programa de Maestría en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

Combination-Methods / Combinación-Métodos	Total distance / Distancia total	Average distance / Distancia promedio
TOPSIS-AHP	548	182.66
TOPSIS-PAM	428	142.66
WSM-AHP	336	112
WSM-PAM	432	144

TOPSIS: Technique for order of preference by similarity to ideal solution, AHP: Analytical hierarchical process, PAM: Point allocation method, WSM: weighted sum method.

TOPSIS: *Technique for order of preference by similarity to ideal solution*, PJA: Proceso jerárquico analítico, MAP: Método de asignación de puntos, MSP: Método suma ponderada.

The order of Pareto determines that the index that generates an order whose distance is the minimum to the ordinances of the other indexes, is the one of greater compatibility with the criteria of the program. This is because each of the indices formed with different combinations, considers the criteria of the program differently, but they are always the same. The association of these ideas come from the following. On the one hand, the allocation of weights via AHP or PAM is done according to the interpretation that the experts have of the criteria of the program and, being participants of the same, they are the ones who know them best and establish through its academy. On the other hand, the aggregation methods, incorporates the assessments of the criteria used in the selection, so that, in this respect, the index also includes them. In other words, each index treats differently the criteria it uses and the difference is given by how they are weighted and aggregated, taking into account the knowledge of the experts and the algebraic properties of the aggregation methods. In this way, each index represents a different way of treating the information, producing a different order.

When you select the index whose order has a minimum distance with the order of the rest of the indexes tested, it is certainly the most compatible among those tested with the criteria of the program. Of course, if more weighting and aggregation methods were tested, the more compatible index would be more robust; however, it is important to keep the options between the most frequent and simple, which are usually the ones that have produced better results, as well as limiting the number of them.

Conclusions

Multi-criteria methods represent a good option to properly consider the large amount of information generated in a selection process. The weighting method determined the applicants to choose, since

aspirante número 15 es el que mejor satisface el perfil de ingreso ya que aparece en el primer lugar de las cuatro selecciones. El segundo aspirante es el número 10, ya que aparece en cuarto lugar en una de las selecciones y en segundo lugar en las otras tres., mientras que el aspirante número 18 resulta incluido en órdenes distintos (Cuadro 5). Otro resultado importante es el hecho de que las combinaciones TOPSIS-PJA y MSP-PJA seleccionan a los mismos aspirantes, pero en distinto orden. De manera análoga, las combinaciones TOPSIS-MAP y MSP-MAP seleccionan los mismos aspirantes, pero exactamente en el mismo orden.

El ordenamiento de Pareto como técnica para identificar la combinación ponderación-agregación más compatible con los criterios usados, de acuerdo con la distancia total o distancia promedio calculada, muestra que el método de agregación MSP-PJA presenta la distancia promedio mínima (Cuadro 6). Este método debe considerarse como el más compatible con los otros tres construidos basados en los criterios incluidos.

El hecho de que la combinación resultante sea MSP-PJA tiene la ventaja de que el método de agregación MSP es de fácil aplicación. Por su parte, el método de ponderación PJA podría presentar dificultades de operación si se incrementa el número de criterios; sin embargo, esta posible limitación no ha afectado los resultados obtenidos en la presente investigación.

El ordenamiento de Pareto determina que el índice que genera un ordenamiento cuya distancia es la mínima a los ordenamientos de los demás índices, es el de mayor compatibilidad con los criterios del programa. Lo anterior debido a que cada uno de los índices construidos con diferente combinación, considera los criterios del programa de distinta manera, pero siempre son los mismos. La asociación de estas ideas se desprende de lo siguiente. Por un lado, la asignación de pesos vía PJA o MAP se hace de acuerdo con la interpretación que los expertos tienen de los criterios

regardless of the aggregation used, the selected students were the same if the weights of the criteria were the same. The combination of WSM-AHP methods was the most compatible with the other combinations used, as it induces a classification whose distance to other classifications is minimal. This indicates that the considerations of the experts to weight (AHP) and the technique used to add (WSM) are more compatible than the rest of the combinations. Since some of the criteria considered are qualitative and susceptible to be evaluated by linguistic tags, a possible direction in later studies is the use of fuzzy logic. During the last 10 years, students in the Master's program in Forest Science were chosen using the point allocation method (PAM) in the criterion weighting phase, and the weighted sum method (WSM) in the aggregation. The results obtained through this selection were very good, so they add certainty and offer the opportunity to specify the procedure used so far.

End of English version

References / Referencias

- Adalid, C. M., & de Urdanivia, D. (2011). Conacyt y el posgrado: Políticas de evaluación y calidad. *Gestión y Estrategia*, 40, 87–98. Retrieved from <http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/2972/conacyt-y-el-posgrado-politicas-de-evaluacion-y-calidad.pdf?sequence=1>
- Álvarez-Montero, F., Mojardín-Heráldez, A., & Audelo-López, C. (2014). Criterios e instrumentos para la admisión en estudios de doctorado. *Journal of Research in Educational Psychology*, 12(3), 853–886. doi: 10.14204/ejrep.34.13138
- Afshari, A., Mojahed, M., & Yuseff, R. M. (2010). Simple additive weighting approach to personnel selection problem. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1(5), 511–515. doi: 10.7763/IJIMT.2010.V1.89
- Aznar-Bellver, J., & Guijarro-Martínez, F. (2012). *Nuevos métodos de valoración: Modelos multicriterio*. España: Editorial Universitat Politècnica de València. Retrieved from <http://personales.upv.es/~fraguima/Modelos%20multicriterio.pdf>
- Bengoetxea-Castro, E., & Arteaga-Ortiz, J. (2009). La evaluación de posgrados internacionales en la Unión Europea. Ejemplos de buenas prácticas de programas europeos. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 6(2), 60–68. Retrieved from http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/2984/1/v6n2_bengoetxea_arteaga.pdf
- Chakrabarty, N., & Bhattacharjee, D. (2012). Aggregation and weightage issues concerning composite index development: Experience with digital divide in Asian countries. *Asian Pacific Journal of Library and Information Science*, 2(2), 24–37. Retrieved from <https://apjlis.msu.ac.th/index.php/APJLIS/article/viewFile/87/93>

del programa y, siendo partícipes del mismo, son quienes mejor los conocen y establecen a través de su academia. Por otro lado, los métodos de agregación, lo que incorporan son las valoraciones de los criterios usados en la selección, de modo que, en este aspecto, el índice también los incluye en su construcción. En otras palabras, cada índice trata de manera diferente los criterios que usa y la diferencia está dada por el modo en que se ponderan y se agregan, tomando en cuenta el conocimiento de los expertos y las propiedades algebraicas de los métodos de agregación. De este modo cada índice representa una forma distinta de tratar la información, produciendo un ordenamiento diferente.

Cuando se selecciona el índice cuyo ordenamiento tiene una distancia mínima con el ordenamiento del resto de los índices probados, sin duda, es el más compatible entre los probados con los criterios del programa. Por supuesto, si se ensayaran más métodos de ponderación y agregación, el índice más compatible sería más robusto; no obstante, es importante mantener las opciones entre las más frecuentes y sencillas, que suelen ser las que mejores resultados han producido, así como acotar el número de ellas.

Conclusiones

Los métodos multicriterio representan una buena opción para considerar apropiadamente la gran cantidad de información generada en un proceso de selección. El método de ponderación determinó los aspirantes a elegir, ya que indistintamente de la agregación usada, los estudiantes seleccionados fueron los mismos, si las ponderaciones de los criterios fueron las mismas. La combinación de métodos MSP-PJA fue la más compatible con el resto de las combinaciones utilizadas, pues induce una clasificación cuya distancia a otras clasificaciones es mínima. Esto indica que las consideraciones de los expertos para ponderar (PJA) y la técnica utilizada para agregar (MSP) son más compatibles que el resto de las combinaciones. Dado que algunos de los criterios considerados son de carácter cualitativo y susceptibles de ser evaluados mediante etiquetas lingüísticas, una posible dirección en posteriores estudios es el uso de la lógica difusa. Durante los últimos 10 años, los estudiantes de la Maestría en Ciencias Forestales se eligieron utilizando el método de asignación de puntos (MAP) en la fase de ponderación de criterios, y el método suma ponderada (MSP) en la agregación. Los resultados obtenidos mediante esa selección fueron muy buenos, por lo que agregan certidumbre y ofrecen la oportunidad de precisar el procedimiento hasta ahora utilizado.

Fin de la versión en español

- Colonia-Duque, S. M. (2010). *Caracterización del perfil de los estudiantes de posgrado a partir de la información de admisión y el desempeño académico. Aplicación a la maestría en ingeniería administrativa de la Universidad Nacional Sede Medellín*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/3601/1/42144324.2010.pdf>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2013). Marco de referencia para la evaluación y seguimiento de programas de posgrado. Retrieved from http://dsia.uv.mx/sipo/Material_apoyo/Marco_Referencia_PNPC_2013-3.pdf
- Davies, H. (2009). *Survey of master degrees in Europe*. Brussels: European University Association. Retrieved from http://www.eua.be/Libraries/publications-homepage-list/EUA_Survey_Of_Master_Degrees_In_Europe_FINAL_www.pdf?sfvrsn=2
- European University Institute (EUI). (2014). Academic rules and regulations for the doctoral and master's programmes. Retrieved from <http://www.eui.eu/Documents/ServicesAdmin/DeanOfStudies/EUI-RulesRegs.pdf>
- Expert Choice Inc. (2014). Expert Choice Desktop 11.5.1860. Arlington, VA, USA: Author.
- García, J. M. (1995). El desarrollo del posgrado en México: El caso de los sectores público y privado. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México)*, 20(1), 107–130. Retrieved from http://www.cee.edu.mx/revista/r1981_1990/r_texto/t_1990_1_05.pdf
- Ibañez, B. C. (2009). Evaluación diagnóstica y admisión de aspirantes a la educación superior: Algunas notas metodológicas. *Tecnociencia Chihuahua*, 3(1), 39–46. Retrieved from <http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v3n1/data/EvaluacionDiagnosticayAdmisiondeAspirantes.pdf>
- Kehm, B. M. (2006). Doctoral education in Europe and North America: A comparative analysis. *WennerGren International Series*, 67–78. Retrieved from www.portlandpress.com/pp/books/online/fyos/083/0067/0830067.pdf
- Kuncel, N. R., Wee, S., Serafin, L., & Hazlett, S. A. (2010). The validity of Graduate Record Examination for master's and doctoral programs: A meta-analytic investigation. *Educational and Psychological Measurement*, 70(2), 340–353. doi: 10.1177/0013164409344508
- Kuncel, N. R., Credé, M., & Thomas, L. L. (2007). A Meta-Analysis of the predictive validity of the Graduate Management Admission Test (GMAT) and Undergraduate Grade Point Average (UGPA) for graduate student academic performance. *Academy of Management Learning & Education*, 6(1), 51–68. doi: 10.5465/AMLE.2007.24401702
- McGrath, C. H., Henham, M. L., Corbett, A., Durazzi, N., Frearson, M., Janta, B., ...Schweppenstedde, D. (2014). *Higher education entrance qualifications and exams in Europe*. Retrieved from [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/529057/IPOL-CULT_ET\(2014\)529057_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/529057/IPOL-CULT_ET(2014)529057_EN.pdf)
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. publishing. France: Author. Retrieved from <http://www.oecd.org/std/leading-indicators/42495745.pdf>
- Paracchini, M. L., Pacini, C., Calvo, S., & Vogt, J. (2007). Weighting and aggregation of indicators for sustainability impact assessment in the SENSOR context. In K. Helming, M. Pérez-Soba, & P. Tabbush (Eds.), *Sustainability impact assessment of land changes* (pp. 349–372). New York: Springer Berlin Heidelberg.
- Pavić, Z., & Novoselac, V. (2013). Notes on TOPSIS method. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 1(2), 5–12. Retrieved from <http://www.ijres.org/papers/v1-i2/B120512.pdf>
- Podvezko, V. (2011). The comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 22(2), 134–146. doi: 10.5755/j01.ee.22.2.310
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. USA: Springer Science & Business Media. doi: 10.1007/978-1-4614-3597-6
- San Cristóbal, J. R. (2012). *Multi-criteria analysis in the renewable energy industry*. New York: Springer London Dordrecht Heidelberg.
- Santelices, M. V., Ugarte, J. J., Flotts, M. P., Radovic, D., Catalán, X., & Kyllonen, P. (2010). Medición de atributos no cognitivos para el sistema de admisión a la educación superior en Chile. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 3(2), 49–75. Retrieved from https://repositorio.uam.es/xmlui/bitstream/handle/10486/661612/RIEE_3_2_3.pdf?sequence=1
- Velásquez, M., & Hester, P. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operation Research*, 10(2), 56–66. Retrieved from http://www.orstw.org.tw/ijor/vol10no2/ijor_vol10_no2_p56_p66.pdf
- Wang, X. C., & Xiao, X. Y. (2011). On weights determination in ideal point multiattribute decision-making model. In S. W. Wei, S. Xu, Ch. Wuan, Y. Zhong, W. Wojtkowski, G. Wojtkowski, & H. Linger (Eds.), *Information Systems Development* (pp. 475–481). New York: Springer.

