

Selección de plataformas educativas tecnológicas empleando un modelo de toma de decisiones multicriterio basado en la integración de ANP, DEMATEL y TOPSIS

Selection of learning management systems using a multi-criteria decision-making model based on the integration of ANP, DEMATEL and TOPSIS

Pedro Teppa-Garran, Massimo Tassinari Aulisi, Alejandro Villarino Fernández

Palabras clave: Toma de decisiones multicriterio, Plataforma Educativa Tecnológica, PET, ANP, DEMATEL, TOPSIS, Naciones Unidas ODS 4.

Key words: Multi-criteria decision-making, Learning Management System, LMS, ANP, DEMATEL, TOPSIS, United Nations SDG 4

RESUMEN

Las Plataformas Educativas Tecnológicas (PET's) son ampliamente utilizadas para el desarrollo y entrega de información de aprendizaje a los estudiantes. Existe una gran diversidad de PET's con diferentes funcionalidades lo que dificulta su selección. En este estudio se desarrolla una metodología híbrida basada en la integración de los métodos de toma de decisión multicriterio ANP, DEMATEL y TOPSIS para efectuar la selección de la plataforma. Inicialmente se formuló un modelo ANP que recoge la información esencial de una PET. Esto se tradujo en cinco criterios: usabilidad, funcionalidades (curso, evaluación, comunicación) y seguridad, luego los criterios se desglosaron en un total de nueve subcriterios que se agruparon en diferentes nodos. Seguidamente, se calcularon las matrices utilizadas en DEMATEL para cuantificar las interdependencias entre los criterios y subcriterios; lo que permite computar unas ponderaciones finales que sirven de base a la capa de TOPSIS para seleccionar la PET más satisfactoria.

ABSTRACT

Learning Management Systems (LMS) are widely used for the development and delivery of learning information to students. There is a great diversity of LMS with different functionalities which makes their selection difficult. In this study, a hybrid methodology is developed based on the integration of the multi-criteria decision-making methods ANP, DEMATEL and TOPSIS to carry out the selection of a LMS. Initially, an ANP model was formulated that collects the essential information of a LMS. This was translated into five criteria: usability, functionalities (course, evaluation, communication) and security, then the criteria were broken down into a total of nine sub-criteria that were grouped into different nodes. Next, the matrices used in DEMATEL were calculated to quantify the interdependencies between the criteria and sub-criteria; this allows computing final weights that serve as a basis for the TOPSIS layer to select the most satisfactory LMS.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de información y comunicación (TIC) ejercen en la actualidad un gran impacto en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Las instituciones educativas han tenido que adaptarse a estos nuevos cambios con el fin de compartir y hacer llegar de manera adecuada la información y conocimientos que son esenciales para sus estudiantes y profesores. Gracias a las nuevas tecnologías en el ámbito educativo, se tiene un nuevo tipo de alfabetización en la que se deja atrás lo tradicional para pasar a una nueva era digital donde se necesitan habilidades tecnológicas e informacionales. Estas nuevas herramientas tecnológicas se han convertido en un apoyo esencial, permitiendo cambiar los estilos de aprendizaje convencionales y mejorando el proceso de enseñanza de los estudiantes (Viñas, 2017). Como consecuencia de la pandemia de COVID-19, el año 2020 marcó un hito en la educación en general y en la universitaria de manera particular, cuando un número significativo de Universidades incrementaron la utilización de plataformas educativas tecnológicas (PET's). El empleo de PET's como herramientas de apoyo en la realización de actividades de enseñanza y aprendizaje se ha convertido en un fenómeno común en la educación actual (Islam, 2013; Akhmedova y Rahmatova, 2024; Al-Dhief et al., 2024). Una PET es una herramienta de software basada en web para distribuir, supervisar y gestionar cursos a través de Internet. Existen por lo menos tres formas de

emplear una PET. Primero, puede utilizarse como un repositorio electrónico de contenidos. Una segunda forma es cuando los docentes que imparten su clase en el aula se apoyan en la PET para crear una metodología híbrida en sus cursos; y finalmente, puede emplearse en la educación a distancia impartiendo cursos completamente en línea (Islam y Azad, 2015).

Distintas PET's, tanto de código abierto como comerciales y con diferentes especificaciones se encuentran a la disposición hoy en día. Debido a esta elevada disponibilidad de opciones de PET's, con una variedad enorme de especificaciones, la selección de una PET efectiva que cumpla satisfactoriamente los requerimientos de los usuarios puede convertirse en una tarea muy compleja. Los métodos de toma de decisión multicriterio (MDMC) (Aruldoss et al., 2013; Ceballos et al., 2016; Álvarez et al., 2021) son de gran ayuda en la selección de una PET dado que permiten asignar un valor de prioridad a cada alternativa y seleccionar aquella con el máximo valor. Una contribución del empleo de los MDMC en la selección de PET's consiste en la utilización del proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) (Saaty, 2008; Teppa-Garran y Fernandez-Da Costa, 2023). Un método basado en AHP fue propuesto en (Colace et al., 2006) para seleccionar PET's mediante la identificación de un conjunto de criterios tecnológicos y pedagógicos. Debido a la elevada cantidad de criterios a considerar

en el problema de selección de PET's, Muhammad y Cavus (2017) proponen un método difuso DEMATEL para identificar los factores más relevantes dentro del conjunto de criterios de selección. Una debilidad del método AHP es que considera que los criterios son independientes entre sí, este aspecto llevó a (Nazir y Cavus, 2017) a formular un modelo híbrido DEMATEL-ANP para incorporar las relaciones de interdependencia entre los criterios a través de DEMATEL y posteriormente efectuar la clasificación de las alternativas (PET's) mediante el uso de ANP. Sin embargo, el proceso de clasificación propuesto resulta muy complejo porque ANP necesita computar numerosas matrices de comparación pareadas haciendo uso de AHP. Este trabajo propone un modelo de selección de PET's basado en la integración de ANP, DEMATEL y TOPSIS. El método ANP (Saaty y Vargas, 2006; Taherdoost y Madanchian, 2023) permite construir, para el problema de selección de una PET, la red de criterios y subcriterios, su agrupación en clusters y las relaciones entre éstos últimos. El método DEMATEL (Gabus y Fontella, 1972; Si et al., 2018) es empleado para

cuantificar las relaciones de interdependencia entre los criterios y subcriterios y finalmente TOPSIS (Hwang y Yoon, 1981; Behzadian et al., 2012; Panda y Jagadev, 2018; Çelikbilek y Tüysüz, 2020) es utilizado para clasificar las PET's que están siendo evaluadas. Esta investigación se realizó en la Universidad Metropolitana (UNIMET) en la ciudad de Caracas, Venezuela. El equipo de expertos que ayudó a definir el modelo de selección, a cuantificar las relaciones de interdependencia y a la clasificación de las alternativas estuvo conformado por siete integrantes, todos ellos profesores y personal técnico de la Dirección de Innovación y Tecnología Educativa (DITE) de la UNIMET. Las PETs consideradas en el estudio fueron las de uso común en esta universidad (Moodle, Canvas y Google Classroom) siendo Google Classroom la plataforma seleccionada al aplicar la metodología. Los resultados de este estudio se alinean con el objetivo de desarrollo sostenible número 4 de las Naciones Unidas debido al impacto que poseen las PET's en garantizar una educación de calidad.

Modelo ANP para la selección de PETs

El modelo ANP propuesto para seleccionar una PET se muestra en la Figura 1. Consta de cinco criterios, donde cuatro de éstos se han agrupado en nodos o clusters mediante el desglose en subcriterios. La red del

modelo evidencia las relaciones de interdependencia entre los distintos elementos que lo componen. La descripción de los criterios y subcriterios aparece en las Tablas 1 y 2,

respectivamente. Las características del equipo de expertos que se conformó para apoyar este trabajo se describen en la Tabla 3.

Figura 1. Modelo ANP para seleccionar PET's

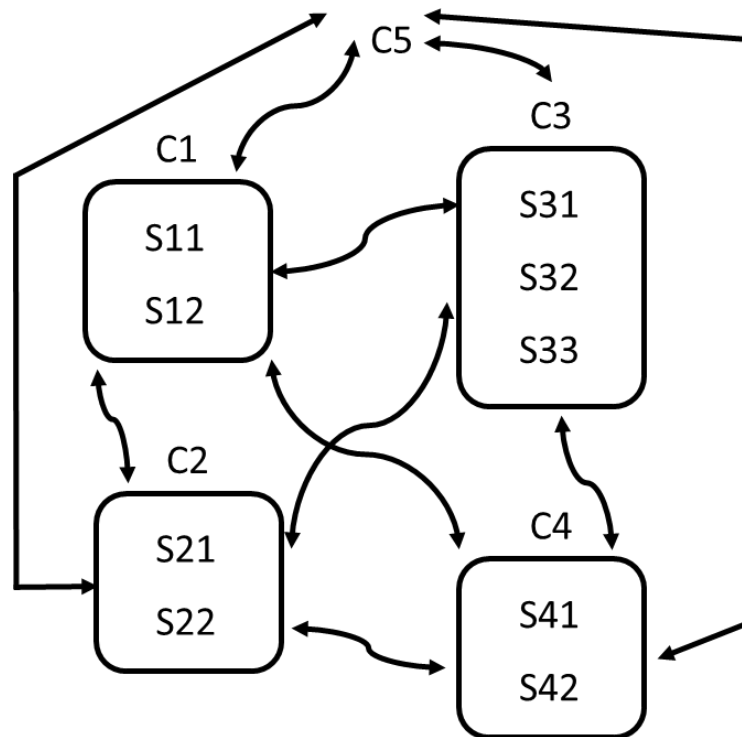


Tabla 1. Descripción de cada criterio para selección de la PET

Criterio	Descripción
C1 = Usabilidad	La PET debe ser fácil de usar, intuitiva y multiplataforma.
C2 = Funcionalidades para el curso	Funciones y herramientas que la PET ofrece para usar con respecto a los cursos dictados (seguimiento del estudiante, publicación de contenido, compatibilidad con otras plataformas, personalización).
C3 = Funcionalidades para las evaluaciones	Funciones y herramientas que la PET ofrece para emplear con respecto a las evaluaciones (flexibilidad en el tipo de preguntas, corrección automática, medidas anti-trampa, formulación de evaluaciones colaborativas).
C4 = Funcionalidades de comunicación	Funciones y herramientas que la PET ofrece para la comunicación (foros y notificaciones).
C5 = Seguridad	Medidas de seguridad que garanticen la integridad, disponibilidad y confidencialidad de la información manejada.

Tabla 2. Descripción de cada subcriterio para selección de la PET

Criterio	Subcriterio	Descripción
C1	S11 = Facilidad de uso de las herramientas	La PET debe ofrecer funcionalidades intuitivas y fáciles de entender y aplicar, tanto en la navegación entre distintos cursos en la plataforma como en el material dentro de un curso en particular.
	S12 = Capacidad de usar la plataforma en distintos dispositivos (Portabilidad)	Es la capacidad de la PET de ser accesible y poder ser utilizada en diversos dispositivos, como computadoras, tabletas y teléfonos inteligentes.
C2	S21 = Seguimiento del estudiante	Comprende las herramientas que permiten al profesor monitorear y controlar las actividades y calificaciones de cada estudiante en un curso.
	S22 = Publicación y organización del material	La PET debe facilitar la publicación y organización del contenido del curso en diferentes formatos, y la inclusión y utilización de herramientas de otras plataformas con diversas finalidades dentro del curso. Además, implica la capacidad de personalizar la plataforma según las preferencias o necesidades del profesor.
C3	S31 = Flexibilidad para la formulación de evaluaciones	Es la capacidad de la PET para agregar preguntas de distintos tipos en evaluaciones (selección simple, múltiple, desarrollo, entre otras). Igualmente, implica la posibilidad de realizar actividades evaluadas por más de un estudiante, además de contar con herramientas para gestionarlas.
	S32 = Corrección automática	Corresponde a la capacidad de la PET para corregir automáticamente las respuestas de los estudiantes a preguntas que lo permitan, como las de selección simple, selección múltiple o pareo, después de proporcionar a la plataforma la respuesta correcta.
	S33 = Medidas anti trampa	Son las herramientas que la PET ofrece para detectar o evitar comportamientos deshonestos por parte de los estudiantes durante las evaluaciones.
C4	S41 = Foros de discusión	Contempla las herramientas o capacidades que la PET puede proporcionar para facilitar discusiones de diversos temas a través del uso de foros.
	S42 = Notificaciones a profesores y estudiantes	Es la capacidad de la PET para enviar notificaciones con información relevante sobre el curso a estudiantes y profesores.

Tabla 3. Descripción del equipo de expertos

Experto	Experiencia
1	Ingeniero Agrónomo. Profesor de la UNIMET adscrito al Departamento de Construcción y Desarrollo Sustentable. Habilidades en manejo de programas de base de datos. Experiencia con Moodle, <i>Google Classroom</i> y herramientas de la suite de Google como <i>Google Forms</i> y <i>Google Sites</i> .
2	Ingeniero de Sistemas. Profesor de la UNIMET adscrito al Departamento de Gestión de Proyectos y Sistemas. Amplia experiencia en la gestión y dirección de proyectos TIC, y de proyectos de integración e implantación de sistemas de gestión empresariales para la toma de decisiones. Experiencia con <i>Google Classroom</i> , <i>Moodle</i> y <i>Canvas</i> .
3	Experiencia educativa en la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) y profesor de la UNIMET adscrito al Departamento de Gestión de Proyectos y Sistemas. Especialista en sistemas de información y trabajos de investigación. Experiencia con desarrollo y evaluación de modelos de calidad. Experiencia con <i>Moodle</i> , conocimiento sobre <i>Canvas</i> y <i>Google Classroom</i> .
4	Profesor de la UNIMET perteneciente a la Facultad de Ciencias y Artes. Psicólogo y consultor empresarial. Facilitador de Cursos y Talleres de <i>Mindfulness</i> , Felicidad organizacional, Inteligencia Emocional, Salud y Bienestar. Conferencista de <i>Mindfulness</i> y <i>Marketing Research</i> en Instituciones Académicas a nivel nacional e internacional. Experiencia con <i>Google Classroom</i> y <i>Matrix LMS</i> .
5	Egresado de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). Coordinador de Virtualización de la DITE en la UNIMET. Experiencia en el desarrollo de portales web para <i>Ninweb.net</i> . Administrador de tecnologías de Información y Comunicación en la UPEL. Amplio conocimiento de <i>Moodle</i> y conocimiento sobre otras plataformas educativas tecnológicas como <i>Google Classroom</i> , <i>Canvas</i> , <i>Webcity</i> y <i>Blackboard Learn</i> .
6	Licenciado en educación. Maestría en Educación con mención Gerencia Educativa de la UCAB. Especialista en gerencia de instituciones educativas. Director de la Escuela de Educación de la UNIMET. Conocimientos de <i>Canvas</i> , <i>Google Classroom</i> y <i>Moodle</i> .
7	Licenciado en computación. Docente e investigador de la escuela de computación de la Universidad Central de Venezuela, profesor de la UNIMET y UCAB. Especialista en sistemas de información. MSc y Doctor en Ciencias mención Ciencias de la Computación. Conocimientos de <i>Canvas</i> , <i>Google Classroom</i> y <i>Moodle</i> .

Método híbrido propuesto

En la Fig. 2 se aprecia un esquema del funcionamiento de la metodología

híbrida propuesta que integra los métodos ANP – DEMATEL – TOPSIS.

Figura 2. Pasos para implementar la metodología ANP – DEMATEL – TOPSIS

ANP	1. Identificación de la red. 2. Formación de nodos (<i>Clusters</i>)
DEMATEL	3. Cálculo de la matriz de influencia directa total. 4. Normalización de la matriz de influencia directa.. 5. Cálculo de la matriz de relaciones totales. 6. Normalización de la matriz de relaciones totales.
ANP	7. Cálculo del vector de pesos de los criterios. 8. Repetir 3 – 7 para los subcriterios y obtener el vector de pesos de subcriterios. 9. Combinar (7) y (8) para computar el vector de pesos finales.
TOPSIS	10. Cálculo de la matriz de decisión. 11. Normalización de la matriz de decisión. 12. Ponderación de la matriz de decisión normalizada. 13. Determinación de las alternativas ideal positiva e ideal negativa. 14. Cálculo de las medidas de distancia. 15. Cálculo de la proximidad relativa a la alternativa ideal. 16. Ordenación de las alternativas.

La metodología está constituida por 16 pasos. Los pasos 1 y 2 corresponden al método ANP, mientras que entre los pasos del 3 al 6 se emplea el método DEMATEL. Los pasos 7 al 9 retoman ANP, y finalmente en los pasos restantes se aplica el método TOPSIS. A continuación se describen en detalle cada uno de los pasos del método propuesto.

1. Identificación de los elementos que conforman la red (Criterios y alternativas).
2. Agrupación de los elementos con características comunes (subcriterios) en nodos (*clusters*).
3. Generación de la de la matriz de influencia directa total A . Esta matriz evalúa las relaciones de interdependencia entre los n criterios $C = \{c_1, \dots, c_n\}$ mediante el empleo de una escala de números enteros con “(0)

no influencia", "(1) baja influencia", "(2) media influencia" y "(3) alta influencia". De esta manera se forma la matriz de influencia directa del k –ésimo experto $A_k = [a_{ij}^k]_{n \times n}$. En esta matriz todos los elementos de la diagonal principal son cero y el término a_{ij}^k mide el nivel de influencia que tiene el criterio c_i sobre el c_j conforme al juicio del experto k –ésimo. Si hay N expertos, se deben agregar las matrices de influencia directa de cada uno de ellos para obtener la matriz de influencia directa total $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ como

$$a_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N a_{ij}^k, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

4. Cómputo de la matriz de influencia directa total normalizada $X = [x_{ij}]_{n \times n}$. Esto se logra sumando todos los elementos de cada fila y de cada columna de la matriz A y luego dividir cada elemento de esta matriz por el valor máximo entre estos sumandos. De manera más específica debe hacerse

$$X = \frac{1}{b} A \quad (2)$$

Con

$$b = \max \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij} \right\} \quad (3)$$

5. Cálculo de la matriz de relaciones totales $T = [t_{ij}]_{n \times n}$. A ese fin se suman todos los efectos directos y los efectos indirectos de la matriz X haciendo

$$T = X + X^2 + X^3 + \dots + X^l = X(I - X)^{-1}, \text{ cuando } l \rightarrow \infty \quad (4)$$

Aquí I denota la matriz identidad de dimensión n .

6. Normalización de la matriz de relaciones totales T . La normalización en este caso es por columnas. Todos los elementos de las columnas de esta matriz deben sumar uno.

7. Cálculo de la supermatriz límite. Se multiplica la matriz de relaciones totales normalizada, obtenida en el paso anterior, por ella misma tantas veces sea necesario hasta conseguir que todas las columnas tengan los mismos cuatro primeros decimales (criterio usado en este trabajo). Este resultado se conoce como la suma de Cesàro (Saaty, 2008) y aplica para matrices aleatorias (normalizadas por columna). Cualquier columna de esta matriz resultante muestra los pesos de cada uno de los criterios que se denotará a través del vector $C = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n]^T$. Posteriormente, se repiten los pasos del 3 al 7 empleando los subcriterios para obtener el vector

$$S = [a \ b \ \dots \ c]^T$$

$$a = s_{11}, \dots, s_{1m_1}, \ b = s_{21}, \dots, s_{2m_2} \text{ y } c = s_{n1}, \dots, s_{nm_n}$$

cuyos elementos representan los pesos que tiene cada subcriterio y m_i denota la cantidad de subcriterios asociados al criterio c_i (cluster i –ésimo). El número total de subcriterios viene dado por $L = \sum_{i=1}^n m_i$.

8. Normalización del vector $\mathbf{S}$. Se realiza esta normalización para lograr obtener el porcentaje de peso que tiene cada uno de los subcriterios en su *cluster*. Para poder realizar esta normalización se debe dividir el peso del subcriterio entre la suma de los pesos de los subcriterios de ese *cluster*. Para cada $0 \leq i \leq n$ se hace

$$\frac{s_{ij}}{\sum_{j=1}^{m_i} s_{ij}} \quad (5)$$

El vector de pesos de subcriterios normalizado se denota por $\mathbf{S}_N$.

9. Cálculo del vector de pesos finales de los subcriterios

$\mathbf{F} =$

$$[f_{11}, \dots, f_{1m_1}, f_{21}, \dots, f_{2m_2}, \dots, f_{n1}, \dots, f_{nm_n}]^T.$$

Este vector se obtiene multiplicando el peso de cada criterio del vector $\mathbf{C}$ por los pesos de los subcriterios del vector $\mathbf{S}_N$ correspondientes a ese *cluster*. Esto es,

$$f_{ij} = c_i s_{ij} \text{ con } i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m_i \quad (6)$$

10. Cálculo de la matriz de decisión $\mathbf{D} = [d_{ij}]_{p \times L}$. Cada experto debe puntuar cada una de las p alternativas según los L subcriterios. TOPSIS suele emplear una escala de evaluación entera del 1 al 5 para este propósito, en donde se tiene: "(5) Excelente", "(4) Bueno", "(3) Regular", "(2) Deficiente" y 1 "(1) Insuficiente". Las matrices de decisión de cada experto se promedian para generar la matriz $\mathbf{D}$.

11. Normalización de la matriz de decisión $\mathbf{D}$ para formar la matriz $\mathbf{R} = [r_{ij}]_{p \times L}$ haciendo

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p d_{ij}^2}}, \quad j = 1, \dots, L \quad (7)$$

12. Cálculo de la matriz de decisión normalizada ponderada $\mathbf{V} = [v_{ij}]_{p \times L}$. Cada elemento de esta matriz es el resultado de hacer

$$v_{ij} = f_{ij} r_{ij} \text{ con } i = 1, \dots, p; j = 1, \dots, L \quad (8)$$

13. Determinación de la alternativa ideal positiva $\mathbf{A}^+$ y la alternativa ideal negativa $\mathbf{A}^-$ (anti-ideal).

$$\mathbf{A}^+ = [v_1^+ \quad v_2^+ \quad \dots \quad v_L^+] \quad (9)$$

$$\text{Con } v_i^+ = \max_j \{v_{ij}\} \text{ con } j = 1, \dots, L; i = 1, \dots, p$$

$$\mathbf{A}^- = [v_1^- \quad v_2^- \quad \dots \quad v_L^-] \quad (10)$$

$$\text{Con } v_i^- = \min_j \{v_{ij}\} \text{ con } j = 1, \dots, L; i = 1, \dots, p$$

14. Cálculo de las medidas de distancia. Empleando distancias Euclidianas se calcula la separación que tiene cada una de las alternativas $1 \leq i \leq p$ con respecto a su solución positiva ideal (distancia D_i^+) y con respecto a su solución negativa ideal (distancia D_i^-).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^L (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, \dots, p \quad (11)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^L (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, \dots, p \quad (12)$$

15. Cálculo de la proximidad relativa a la alternativa ideal P_i^* de cada una de las alternativas consideradas.

$$P_i^* = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, \quad i = 1, \dots, p \quad (13)$$

16. Ordenación de las preferencias. La clasificación de las alternativas se obtendrá a partir de los valores de P_i^* en orden descendente.

RESULTADOS

En esta sección se aplica el método desarrollado en la sección precedente al problema de selección de PETs.

Pasos 1 y 2: Con la colaboración del equipo de expertos (Tabla 3) se formuló la red de la Figura 1. Ahí se aprecian 5 criterios que se describen en la Tabla 1, cada criterio se agrupa en nodos o *clusters* mediante un grupo de subcriterios que se describen en la Tabla 2. Las tres plataformas (alternativas) consideradas en el estudio son las de uso común en la UNIMET. Éstas son: *Moodle*, *Canvas* y *Classroom*.

Paso 3: A cada experto se le solicitó que cuantificara las relaciones de interdependencia existentes entre los criterios usando la escala numérica DEMATEL. De ahí surgieron siete matrices:

$$A^1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 3 \\ 3 & 3 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \end{bmatrix} \dots$$

$$A^7 = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 3 & 3 & 2 \\ 3 & 0 & 3 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & 0 & 3 & 3 \\ 3 & 3 & 3 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Usando (1) se promedian las siete matrices previas para computar la matriz de influencia directa total de los criterios, descrita por:

$$A = \begin{bmatrix} 0,0000 & 2,5714 & 2,1429 & 2,1429 & 1,7143 \\ 2,4286 & 0,0000 & 2,2857 & 2,0000 & 1,2857 \\ 2,1429 & 2,2857 & 0,0000 & 1,7143 & 2,4286 \\ 2,2857 & 2,8571 & 2,2857 & 0,0000 & 2,0000 \\ 1,8571 & 2,0000 & 2,4286 & 2,2857 & 0,0000 \end{bmatrix}$$

Paso 4: Empleando (2) y (3), la matriz A se normaliza resultando en:

$$X = \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,2647 & 0,2206 & 0,2206 & 0,1765 \\ 0,2500 & 0,0000 & 0,2353 & 0,2059 & 0,1324 \\ 0,2206 & 0,2353 & 0,0000 & 0,1765 & 0,2500 \\ 0,2353 & 0,2941 & 0,2353 & 0,0000 & 0,2059 \\ 0,1912 & 0,2059 & 0,2500 & 0,2353 & 0,0000 \end{bmatrix}$$

Paso 5: Utilizando (4), a partir de la matriz X se computa la matriz de relaciones totales

$$T = \begin{bmatrix} 1,4291 & 1,7649 & 1,6554 & 1,5181 & 1,3886 \\ 1,5530 & 1,4727 & 1,5856 & 1,4358 & 1,2933 \\ 1,6057 & 1,7406 & 1,4733 & 1,4874 & 1,4383 \\ 1,7342 & 1,9084 & 1,7839 & 1,4451 & 1,5080 \\ 1,5936 & 1,7307 & 1,6810 & 1,5330 & 1,2461 \end{bmatrix}$$

Paso 6: La matriz T se normaliza por columnas de forma que todos sus valores sumen 1. El resultado se denota por T_{CN} .

$$T_{CN} = \begin{bmatrix} 0,1805 & 0,2048 & 0,2024 & 0,2046 & 0,2020 \\ 0,1962 & 0,1709 & 0,1939 & 0,1935 & 0,1881 \\ 0,2029 & 0,2020 & 0,1801 & 0,2005 & 0,2092 \\ 0,2191 & 0,2215 & 0,2181 & 0,1948 & 0,2194 \\ 0,2013 & 0,2008 & 0,2055 & 0,2066 & 0,1813 \end{bmatrix}$$

Paso 7: Se procede a computar la supermatriz límite asociada a T_{CN} mediante multiplicaciones sucesivas de ésta matriz consigo misma. Estas multiplicaciones se detienen cuando todas las columnas son iguales en cuatro cifras

decimales. Cualquiera de las columnas corresponde al vector de pesos de los criterios dado por:

$$C = [c_1 \ c_2 \ c_3 \ c_4 \ c_5]^T = [0,1989 \ 0,1888 \ 0,1989 \ 0,2142 \ 0,1992]^T$$

Los pasos 3 a 7 se repiten considerando ahora los subcriterios. En el paso 3, la matriz de influencia directa de los subcriterios es descrita en la Tabla 4.

Tabla 4. Matriz de influencia directa de los subcriterios

	S11	S12	S21	S22	S31	S32	S33	S41	S42
S11	0,0000	2,5714	2,5714	2,8571	2,2857	2,0000	2,1429	2,1429	2,5714
S12	3,0000	0,0000	2,4286	2,1429	2,0000	1,7143	1,8571	2,2857	2,4286
S21	2,4286	2,1429	0,0000	2,0000	2,1429	2,1429	2,5714	2,2857	2,7143
S22	3,0000	2,5714	2,4286	0,0000	2,5714	1,8571	1,8571	2,0000	2,2857
S31	2,7143	2,4286	2,4286	2,1429	0,0000	2,1429	2,4286	1,4286	2,2857
S32	2,0000	1,4286	2,2857	1,7143	2,4286	0,0000	2,5714	1,5714	1,8571
S33	2,1429	1,8571	2,0000	1,4286	2,0000	2,0000	0,0000	1,4286	2,4286
S41	2,7143	2,2857	2,4286	2,5714	1,8571	1,2857	1,4286	0,0000	2,5714
S42	2,7143	2,7143	2,5714	2,2857	2,0000	1,7143	2,0000	2,1429	0,0000

A partir de ella, repitiendo los pasos de 4 a 7, se obtiene el vector de pesos de los subcriterios descrito como:

$$S = [s_{11}, s_{12}, s_{21}, s_{22}, s_{31}, s_{32}, s_{33}, s_{41}, s_{42}]^T$$

$$s_{11} = 0,1201, s_{12} = 0,1130, s_{21} = 0,1154, s_{22} = 0,1169, s_{31} = 0,1131, s_{32} = 0,1002, s_{33} = 0,0975, s_{41} = 0,1092 \text{ y } s_{42} = 0,1146.$$

Paso 8: Mediante (5) se normaliza el vector S para obtener el porcentaje de peso que tiene cada uno de los subcriterios en su *cluster*. De esta forma dentro de cada *cluster*

la suma de los pesos es uno. El vector de pesos normalizados viene dado por:

$$S_N = [0,5153, 0,4847, 0,4967, 0,5033$$

$$0,3637, 0,3225, 0,3138, 0,4881, 0,5119]^T$$

Paso 9: A través de (6) se calcula el vector de pesos finales de los subcriterios resultando en:

$$F = [s_{11}, s_{12}, s_{21}, s_{22}, s_{31}, s_{32}, s_{33}, s_{41}, s_{42}, c_5]^T$$

$$s_{11} = 0,1025, s_{12} = 0,0964, s_{21} = 0,0938, s_{22} = 0,0950, s_{31} = 0,0724, s_{32} = 0,0642, s_{33} = 0,0624, s_{41} = 0,1045, s_{42} = 0,1097 \text{ y } c_5 = 0,1992.$$

Por otro lado, se debe considerar que el criterio c_5 correspondiente a “Seguridad” es el único que está dentro de su *cluster*, esto es, se considera como criterio y a su vez subcriterio, por esta razón, su peso se repite en el vector F .

Paso 10: Usando la escala numérica de TOPSIS se le solicitó a cada experto que evaluara las tres PETs con base en los subcriterios (incluyendo c_5). De esta forma se calculan siete matrices que se promedian para obtener la matriz de decisión $D = [d_{ij}]_{3 \times 10}$ representada en la Tabla 5.

Tabla 5. Matriz de decisión

	S11	S12	S21	S22	S31	S32	S33	S41	S42	C5
CANVAS	3,2857	3,4286	4,1429	4,1429	3,8571	3,8571	3,8571	3,7143	4,2857	4,1429
GOOGLE CLASSROOM	4,4286	4,5714	3,8571	4,1429	3,7143	3,7143	3,7143	4,0000	4,4286	3,8571
MOODLE	2,8571	3,4286	4,1429	4,0000	3,8571	4,1429	3,8571	3,8571	4,1429	4,4286

Paso 11: Empleando (7) se normaliza la matriz D para obtener la matriz de decisión

normalizada $R = [r_{ij}]_{p \times L}$ descrita en la Tabla 6.

Tabla 6. Matriz de decisión normalizada

	S11	S12	S21	S22	S31	S32	S33	S41	S42	C5
CANVAS	0,5291	0,5145	0,5906	0,5840	0,5845	0,5697	0,5845	0,5557	0,5771	0,5764
GOOGLE CLASSROOM	0,7131	0,6860	0,5499	0,5840	0,5628	0,5486	0,5628	0,5985	0,5964	0,5367
MOODLE	0,4600	0,5145	0,5906	0,5638	0,5845	0,6119	0,5845	0,5771	0,5579	0,6162

Paso 12: Haciendo uso de (8) se computa la matriz de decisión normalizada ponderada

$V = [v_{ij}]_{3 \times 10}$. Esta matriz se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Matriz de decisión normalizada ponderada

	S11	S12	S21	S22	S31	S32	S33	S41	S42	C5
CANVAS	0,0542	0,0496	0,0554	0,0555	0,0423	0,0365	0,0365	0,0581	0,0633	0,1148
GOOGLE CLASSROOM	0,0731	0,0661	0,0516	0,0555	0,0407	0,0352	0,0351	0,0626	0,0654	0,1069
MOODLE	0,0472	0,0496	0,0554	0,0536	0,0423	0,0393	0,0365	0,0603	0,0612	0,1228

Paso 13: Usando (9) y (10) se determinan la alternativa ideal positiva A^+ y la alternativa anti-ideal negativa A^- . Esto se ilustra en la

Tabla 8.

Tabla 8. Valores resultantes de A^+ y A^-

	S11	S12	S21	S22	S31	S32	S33	S41	S42	C5
A^+	0,0731	0,0661	0,0554	0,0555	0,0423	0,0393	0,0365	0,0626	0,0654	0,1228
A^-	0,0472	0,0496	0,0516	0,0536	0,0407	0,0352	0,0351	0,0581	0,0612	0,1069

Paso 14: Empleando (11) y (12) se calculan la distancia entre cada alternativa y las soluciones ideal positiva e ideal negativa.

Los valores de distancia aparecen en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de las medidas de distancia

	D_i^+	D_i^-
CANVAS	0,0269	0,0119
GOOGLE CLASSROOM	0,0169	0,0314
MOODLE	0,0312	0,0171

Pasos 15 y 16: Luego de calcular, a través de la ecuación (13), la proximidad relativa de cada alternativa a la solución ideal

pueden clasificarse las PET's consideradas. Los resultados finales aparecen en la Tabla 10.

Tabla 10. Clasificación final de las alternativas

Clasificación	Alternativa	P_i^*	Peso porcentual
1	GOOGLE CLASSROOM	0,6500	49,61 %
2	MOODLE	0,3537	26,99 %
3	CANVAS	0,3067	23,40 %

CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología de toma de decisiones multicriterio que integra los métodos ANP, DEMATEL y TOPSIS. La metodología se empleó para orientar la selección de plataformas educativas tecnológicas. El modelo de red que se elaboró consta de cinco criterios y nueve subcriterios que fueron definidos a través de una extensa revisión bibliográfica y la participación de un equipo de siete expertos. Los expertos son profesores y personal técnico de la Universidad Metropolitana en Venezuela con experiencia comprobada en el área de la tecnología educativa y en el empleo de

plataformas educativas tecnológicas. Las alternativas consideradas fueron las tres plataformas educativas de uso común en la universidad, resultando Google Classroom favorecida como la mejor opción para la metodología propuesta. Si bien el modelo de decisión se formuló considerando los requerimientos y alternativas de una institución educativa, se piensa que los factores de decisión son lo suficientemente generales para aplicarse en otras universidades y considerando diferentes plataformas educativas. Por otra parte, la metodología híbrida propuesta puede ser utilizada en cualquier ámbito de la toma de decisiones.

REFERENCIAS

- Akhmedova, Z., y Rahmatova, N. (2024). LMS (Learning Management System) Learning Management System Features. *Science and innovation in the education system*, 3(1), 85-94. <http://www.econferences.ru/index.php/sies/article/view/11696/6100>
- Al-Dhief, F. T., Nasser, A. A., Tharikh, S. M., Nasser, H. A., Al-Mosleh, A. A., Albadr, M. A. A., y Alsemawi, M. R. M. (2024). Review of learning management systems: history, types, advantages, and challenges. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 33(1), 350-360. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i1.pp350-360>
- Álvarez, P. A., Ishizaka, A., y Martínez, L. (2021). Multiple-criteria decision-making sorting methods: A survey. *Expert Systems with Applications*, 183, 115368. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115368>
- Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., y Venkatesan, V. P. (2013). A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43. <https://pubs.sciepub.com/ajis/1/1/5/>
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., y Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with applications*, 39(17), 13051-13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Ceballos, B., Lamata, M., y Pelta, D. (2016). A comparative analysis of multi-criteria decision-making methods. *Progress in Artificial Intelligence*, 5, 315-322. <https://doi.org/10.1007/s13748-016-0093-1>
- Çelikbilek, Y., y Tüysüz, F. (2020). An in-depth review of theory of the TOPSIS method: An

- experimental analysis. *Journal of Management Analytics*, 7(2), 281-300. <https://doi.org/10.1080/23270012.2020.1748528>
- Colace, F., De Santo, M., y Pietrosanto, A. (2006). Evaluation models for e-learning platform: an AHP approach. In *Proceedings. Frontiers in Education. 36th Annual Conference* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2006.322312>
- Gabus, A. y Fontella, E. (1972). *World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL*, Batelle Geneva Research Centre.
- Hwang, C. L., y Yoon, K. P. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag.
- Islam, A. (2013). Investigating e-learning system usage outcomes in the university context. *Computers & Education*, 69, 87-399. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.037>
- Islam, A. N., y Azad, N. (2015). Satisfaction and continuance with a learning management system: Comparing perceptions of educators and students. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 32(2), 109-123. <https://doi.org/10.1108/IJILT-09-2014-0020>
- Muhammad, M., y Cavus, N. (2017). Fuzzy DEMATEL method for identifying LMS evaluation criteria. *Procedia computer science*, 120, 742-749. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.304>
- Nazir, M., y Cavus, N. (2017). Quality evaluation of learning management systems using DEMATEL-ANP. In *INTED2017 Proceedings* (pp. 5754-5760). IATED. <https://doi.org/10.21125/inted.2017.1350>
- Panda, M., y Jagadev, A. K. (2018, September). TOPSIS in multi-criteria decision making: a survey. In *2018 2nd International Conference on Data Science and Business Analytics (ICDSBA)* (pp. 51-54). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICDSBA.2018.00017>
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. <https://www.rafikulislam.com/uploads/resources/197245512559a37aadea6d.pdf>
- Saaty, T. L., y Vargas, L. G. (2006). *Decision making with the analytic network process* (Vol. 282). Springer Science+ Business Media, LLC. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-7279-7>
- Si, S., You, X., Liu, H., & Zhang, P. (2018). DEMATEL Technique: A systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 1, 1-33. <https://doi.org/10.1155/2018/3696457>
- Taherdoost, H., y Madanchian, M. (2023). Analytic Network Process (ANP) method: A comprehensive review of applications, advantages, and limitations. *Journal of Data Science and Intelligent Systems*, 1(1), 12-18. <https://doi.org/10.47852/bonviewJDSIS3202885>
- Teppa-Garran, P., y Fernández-Da Costa, C. (2023). Modelo para la selección de lanzadores de béisbol empleando el Proceso Analítico Jerárquico a través de la evaluación de su desempeño integral. *Revista Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*, 8(30), 7-22. <https://doi.org/10.54139/riiant.v8i30.478>
- Viñas, M. (2017). La importancia del uso de plataformas educativas. *Letras*, 1(6), 157-169. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_r evistas/pr.8497/pr.8497.pdf

Autores

Pedro Teppa-Garran. Ingeniero Electricista, Universidad Metropolitana, Venezuela. MSc Ingeniería Electrónica, Universidad Simón Bolívar, Venezuela. MSc Matemáticas, Universidad Simón Bolívar, Venezuela. PhD Sistemas de Control, Université Paul Sabatier, Francia. Postdoctorado en Sistemas de Control, LAAS – CNRS, Francia. Profesor Titular Departamento de Gestión de Proyectos y Sistemas Universidad Metropolitana, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6384-3185>

Email: pteppa@unimet.edu.ve

Massimo Tassinari Aulisi. Ingeniero de Sistemas Universidad Metropolitana, Venezuela. Estudiante del Máster en Análisis de Negocios y Ciencia de los Datos en la IE Universidad de Segovia, España.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6998-0619>

Email: massimo.tassinari@correo.unimet.edu.ve

Alejandro Villarino Fernández. Ingeniero de Sistemas Universidad Metropolitana, Venezuela. Actualmente se desempeña como Ingeniero de Soporte de Sistemas en la Corporación Digitel en Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8692-2308>

Email: alejandro.villarino@correo.unimet.edu.ve

Recibido: 30-09-2024

Aceptado: 29-11-2024