

Una revisión de literatura de 1980 a 2018 de los métodos Multi-criterio

A literature review from 1980 to 2018 of Multi-criteria methods

^aAldo Joel Villa-Silva, Luis. Perez-Domínguez, ^bDr. Erwin Martínez Gomez,
^cDr. Iván Juan Carlos Pérez Olguin, ^dIng. Sara Nohemí Almeraz Durán

^aDoctor Aldo Joel Villa-Silva, ing.aldojvillasilva@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6205-769X,
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Instituto de Ingeniería y Tecnología Departamento de Doctorado en Tecnología
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

^bDoctor Luis Perez-Domínguez, luis.dominguez@uacj.mx, Orcid: 0000-0003-2541-4595,
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

^cDoctor Erwin Martínez Gomez, emartine@uacj.mx, Orcid: 0000-0002-7753-2545,
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

^dDoctor Ivan Juan Carlos Pérez Olguin , ivan.perez@uacj.mx, Orcid: 0000-0003-2445-0500,
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

^eIng. Sara Nohemí Almeraz Durán ,al187088@alumnos.uacj.mx, Orcid: 0000-0001-8358-1346
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Recibido: Febrero 18 de 2019 Aceptado: Junio 23 de 2019.

Forma de citar: A.J. Villa-Silva , L. Perez Dominguez, E. Martinez Gomez, I.J.C. Perez-Olguin, S.N. Alm Y. Bell-Speck y L. Mengana-Lorenzo.,

“La reafirmación profesional de los estudiantes de la escuela pedagógica. Una metodología para su desarrollo”,
MundoFesc, vol. 9, no. 18, pp. 89-102, 2019

Resumen: El objetivo principal de este artículo es proporcionar una revisión de literatura de las técnicas de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM). Este estudio presenta una descripción y clasificación de las metodologías multi-criterio mayormente utilizadas y un listado de aplicaciones de los métodos por autor y por año. En la metodología se consultó bases de datos: Emerald, Ebsco, Scopus, y palabras clave como: toma de decisiones. Los resultados revelan que los sectores de mayor interés de aplicación de los MCDM son la selección de proveedores y la selección de proyectos. Por su parte los métodos MCDM por conjuntos difusos y TOPSIS son los que reportan mayor número de publicaciones y una tendencia a desarrollar extensiones de los métodos clásicos usando conjuntos difusos.

Palabras clave: Toma de decisiones multi-criterio, AHP, TOPSIS, MOORA, Conjuntos Difusos

Abstrac

The main objective of this article is to provide a literature review of multi-criteria decision making techniques (MCDM). This study presents a description and classification of the most used multi-criteria methodologies and a list of applications of the methods by author and by year. In the methodology, databases were consulted: Emerald, Ebsco, Scopus, and keywords such as: decision making. The results reveal that the sectors of greatest interest in the application of the MCDM are the selection of suppliers and the selection of projects. For their part, the MCDM methods by diffuse sets and TOPSIS are the ones that report the greatest number of publications and a tendency to develop extensions of the classical methods using diffuse sets.

Keywords: Multi-criteria decision making, AHP, TOPSIS, MOORA, Diffuse Sets

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: ing.aldojvillasilva@gmail.com

Introducción

En la actualidad todas las organizaciones deben tomar decisiones, necesitan de datos relevantes a fin de tomar una decisión correcta de manera efectiva [1]. Sin embargo, este proceso es complejo debido principalmente por la interacción entre elementos sociopolíticos, ambientales, ecológicos y económicos. Es por eso que se han desarrollado métodos y herramientas que se utilizan en las organizaciones en general y en la industria en particular, que permitan evaluar numerosas operaciones basadas en múltiples consideraciones [2], [3]. Igualmente, los métodos multi-criterio se han convertido en una herramienta importante de la investigación de operaciones y hacen uso de algoritmos basados a su vez en y herramientas matemáticas para obtener una evaluación subjetiva por los responsables de toma de decisiones [4] [5]. Por otro lado, de acuerdo con [6] los métodos multi-criterio (MCDM) brindan la oportunidad de seleccionar la mejor alternativa en función de las condiciones que se establecen entre los conjuntos de alternativas disponibles. Entre los campos de aplicación de los métodos multi-criterio destacan principalmente 15 según [4]: 1) energía, 2) ambiente y sustentabilidad, 3) administración de la cadena de suministro, 4) materiales, 5) administración de la calidad, 6) GIS, 7) Construcción y administración de proyectos, 8) administración de seguridad y riesgos, 9) sistemas de manufactura, 10) administración de la tecnología, 11) investigación de operaciones e informática, 12) administración estratégica, 13) administración del conocimiento, 14) administración de producción, y 15) otros. Según [7], los métodos multi-criterio para la toma de decisiones (MCDM) se dividen en dos ramas: toma de decisión multi-atributo (MADM) la cual consideran un número limitado de alternativas para evaluación y la toma de decisión multi-objetivo (MODM) que identifican la mejor alternativa de un conjunto infinito de alternativas bajo un conjunto de constantes [8]. Por su parte [9] y [10]

afirman que los métodos multi-criterio se dividen en dos grupos: 1) métodos basados en la teoría del valor y 2) métodos de clasificación. Estos métodos presentan ventajas y desventajas, por esta razón [7] desarrollaron un modelo denominado CODAS (Combinative Distance-based Assessment), el cual añade características no consideradas por otros MCDM. De acuerdo con [4] para la mejor respuesta de estos métodos algunos autores

autores han combinado distintas herramientas basados en los métodos multicriterio previamente desarrollados, partiendo de su modificación y aplicando conjuntos difusos se obtienen métodos como COPRAS, ARAS y WASPAS. Además, las aplicaciones de la teoría de los conjuntos difusos incluyen la toma de decisiones en economía, ingeniería e investigación operativa. La teoría de los conjuntos difusos ha sido ampliamente estudiada en las últimas décadas; la mayor parte del interés inicial de la Teoría de los Conjuntos Difusos trataba de representar la incertidumbre en los procesos cognitivos humanos [11]. Dentro de la Investigación Operativa como parte de la Teoría de los Conjuntos Difusos se puede usar como: a) un lenguaje para modelar apropiadamente problemas y situaciones que contemplen fenómenos o relaciones conjuntas, b) una herramienta para analizar tales modelos para comprender mejor las estructuras de problemas y modelos y c) una herramienta algorítmica para obtener procedimientos de solución más estables o rápidos. Además, de acuerdo con [4] dada una amplia gama de aplicaciones de MCDM en el mundo real, existe una fuerte motivación para categorizar estas aplicaciones en varias áreas y subáreas particulares, a continuación, se presenta una descripción de las metodologías multi-criterio mayormente utilizadas que muestran su importancia en la toma de decisiones en diferentes enfoques.

Revisión de literatura

Análisis Jerárquico de proceso (AHP)

El método AHP fue desarrollado por [12], [13] son teorías de medición de criterios intangibles y son una herramienta para resolver problemas complejos de toma de decisiones [14]. Saaty propone que los tomadores de decisión basen sus preferencias considerando la “Escala Fundamental” [15]. El método AHP es la metodología más utilizada para la selección de proveedores; sin embargo, se vuelve muy complejo con una gran cantidad de proveedores alternativos [16]. A continuación, se presentan algunos estudios de aplicaciones del método AHP:

De acuerdo con [17], para comprender los factores que afectan el rendimiento de los proyectos implementados en el sector del agua potable en India. AHP se utilizó para desarrollar pesos de estos factores. Para [18], AHP es aplicado para resolver el problema de suministro de agua

de rehabilitación de tuberías para redes de distribución de agua. De igual manera, esta investigación presenta una encuesta sobre la selección del sitio para plantas de energía solar en Irán [19], los resultados mostraron que las áreas de Sistan y Fars tienen el potencial de establecer estaciones fotovoltaicas. Además, se utiliza para la aplicación del método en complejas redes de trabajo, para identificar los nodos más importantes y evaluar la importancia de cada nodo [14]. También se aplicó el coeficiente de Kendall para demostrar la efectividad del método. [20] proporcionan a los tomadores de decisiones un modelo de clasificación para la selección de sitios industriales basado en Sistemas de Información Geográfica (GIS). [21] realizaron un análisis multi-criterio de los componentes importantes para una estructura de confiabilidad de un sistema de sellado de tubos de popa instalado en barcos de alta mar, en donde tomaron en cuenta tres criterios de importancia: confiabilidad, seguridad y costos. [22] analizó la implementación de plantas hidroeléctricas en Nepal, la selección del tamaño apropiado; el método es aplicable para los criterios: social, económico, ambiental, técnico, y político; se encontró que el tamaño mediano y grande son los más apropiados. Por otro lado, en [16] se hace la propuesta de un modelo de selección de proveedores para una compañía automotriz en la India, con enfoque AHP, proveer guía y dirección a la gerencia en funciones de compra sobre la base de los criterios identificados en el entorno de fabricación heterogéneo. Así mismo, priorizar los sectores de fabricación en Serbia en el área de mejora de la gestión energética [23]. Los resultados mostraron que los sectores de más alta prioridad son 1) Producción de alimentos, 2) manufactura automotriz, 3) Productos no metálicos.

TOPSIS

TOPSIS es un método de similitud para una solución ideal, es un método conocido y clásico de MCDA, desarrollado por primera vez en el trabajo de [24]. El método se basa en el principio de establecer una calificación sintética que tiene como objetivo determinar la distancia de cada alternativa desde la solución ideal y la solución ideal negativa. La solución ideal se define sobre la base de valores que, entre todo el conjunto de valores disponibles, dentro de los marcos de cada criterio, se consideran los mejores [24].

Por otro lado, una solución ideal negativa se define sobre la base de los peores valores. Los criterios pueden ser de beneficios y criterios de costos, por lo que, dependiendo del criterio, la definición de una solución ideal hay un valor máximo elegido en el caso de los criterios de beneficios y un valor mínimo en el caso de los criterios de costos. Los pasos de la metodología TOPSIS se definen de la siguiente forma: a continuación, se presentan algunos estudios de aplicaciones del método TOPSIS: [25] revisión de las categorías de riesgo que predominan en proyectos y clasificarlos según su efecto en el éxito del proyecto, para TOPSIS resultó en política de riesgos, riesgos técnicos y riesgos relacionados con el diseño como las tres principales categorías de riesgo en proyectos internacionales. [26] Proporciona un método de selección de proveedores utilizando la teoría de sistemas grises para una empresa de fabricación de acero en Libia. [18] Proporciona un juicio sobre la alimentación y desempeño de Seguridad Nutricional (FNS), que incluye criterios múltiples y de conflicto. En [27] el principal objetivo de dicho artículo es comparar el nivel de desarrollo de economía digital en la República Checa, mientras que el segundo objetivo es el seleccionar las variables de peso. [28] Desarrolla un método basado en decisiones para respaldar las decisiones de compra de los consumidores basadas no solo en calificaciones de productos en línea, sino también los atributos reales del producto. [29] Busca resolver el problema de toma de decisiones de inversión en la red de distribución y construir un sistema de indicador de beneficios de inversión de la red de distribución integral, que es más adecuado para China. [30] Propone un nuevo algoritmo de selección de red eficiente en energía considerando tres redes: CDMA, WIMAX y WLAN; el resultado de la simulación indica que, al reducir el número de atributos, también se puede reducir la latencia de transferencia y seleccionar la red óptima de la lista de redes. [31] Se enfoca en la selección óptima de paneles fotovoltaicos considerando el uso de la tierra y por generación de kWh criterios de costo. [32] Evalúa el progreso logrado por los países de la Unión Europea en la aplicación del concepto de sostenibilidad socioeconómica y desarrollo sostenible y señalar al grupo de países que pueden considerarse líderes en esa esfera. [33] Evalúa las opciones de inversión para una comunidad rural y proyectos públicos y determina las ventajas y desventajas de usar el método TOPSIS en la evaluación de proyectos públicos. [34] Existen numerosos sistemas de aire acondicionado disponibles en el mercado

que tienen sus propios méritos y deméritos, por lo que la selección apropiada es muy esencial. Se utiliza un enfoque MCDM para seleccionar el refrigerante apropiado.

MOORA

A pesar del hecho de que, en la era moderna, las técnicas de toma de decisiones de multicriterios son accesible para diferentes problemas de evaluación y selección, por ejemplo, MOORA es un método computacionalmente fácil y simple que propone la solución a la mejor alternativa [35]. De acuerdo con [6] y [36] presentaron el método MOORA como una técnica directa de MADM. Su técnica utiliza la forma multiplicativa completa y la teoría de la dominancia para encontrar la clasificación final. El método actualizado llamado MULTIMOORA comienza con una matriz de decisión X , cada elemento de la matriz de decisión X_{ij} indica la clasificación de alternativa "i" en atributo "j", sea $i=1,2,\dots,m$ y $j=1,2,\dots,n$, por lo tanto, la matriz de decisión se define como: $X=[X_{ij}]_{(m \times n)}$. A continuación, se presenta un listado de artículos recientes del método MOORA y MULTIMOORA:

[35] El método MOORA fue utilizado para determinar una combinación óptima de parámetros de entrada (husillo, velocidad, profundidad de corte y velocidad de avance) para los parámetros de salida dados (consumo de energía, promedio, rugosidad superficial y frecuencia de vibración de la herramienta). [17] La soldadura por arco de gas y metal (GMAW) se utiliza ampliamente para realizar revestimientos con el fin de mejorar la corrosión resistencia y varias otras propiedades del material del sustrato, se empleó MOORA para evaluar y optimizar el efecto de los parámetros de proceso seleccionados. [37] El proceso de selección de futuros estudiantes es un paso inicial emprendido por universidades privadas para atraer a estudiantes superiores, para producir un resultado de decisión mejor, preciso y objetivo se utiliza MOORA. [38] Propone un nuevo método de toma de decisiones

grupales multiatributo; se utiliza MULTIMOORA para seleccionar la mejor de cuatro alternativas de inversión, evaluando beneficios económicos, sociales y ambientales. [39] El método SDV-MOORA se utilizó para optimizar los parámetros del proceso de soldadura utilizados para el gas soldadura de arco de metal de placas de acero dulce. [40] Proporciona un modelo MCDM eficaz

para la selección de personal para la posición del ingeniero de minas el método MULTIMOORA es útil para alternativas de rango. [12] Proponer una extensión del método MULTIMOORA para una empresa minera que planea construir una nueva planta evaluando costos de inversión, confiabilidad tecnológica, e impacto ambiental. [41] Amplia el MULTIMOORA, y se analiza un estudio de las zonas rurales de Lituania. Tres alternativas se presentan: 1. adaptación a las actividades de producción (o comerciales), 2. Mejora y uso agrícola, 3. Ordenamiento y reciclaje de los materiales de desecho de demolición. [42] [43] Desarrolla un índice de evaluación de máquina herramienta de control numérico computarizado (CNC) eficaz y eficiente desde la perspectiva de la evaluación comparativa de la máquina herramienta candidata preferida en el escenario de información subjetiva. A la vez los mismos autores aplicaron MOORA para evaluar la mejor alternativa entre las cadenas de suministro alternativas disponibles. Así mismo [44], utilizaron una extensión de MULTIMOORA y conjuntos grises para la selección de robots industriales.

VIKOR

De acuerdo con [45], aplicaron el método VIKOR para desarrollar un modelo dinámico para seleccionar el programa piloto para mejorar la calidad del producto y la satisfacción del cliente mediante la ejecución de programas piloto de calidad de forma continua. [46] Resuelve un problema de emergencia para la selección de proveedores de manera apropiada y flexible, donde una solución de compromiso sea más aceptable y adecuada. [47] Presenta la extensión del método VIKOR para evaluar la equidad social en China entre diferentes alternativas y, por lo tanto, proponer un enfoque factible para asignar los recursos del servicio público. [48] Desarrolla la evaluación y selección del proveedor de resiliencia considerando simultáneamente la estrategia general y la de resiliencia. [49] Presenta el caso donde una corporación de inversión planea invertir en 3 compañías, sobre la base de 3 atributos: valor de producción anual, beneficio social y nivel de contaminación. [50] Aplica herramientas de toma de decisiones multicriterio (MCDM) para encontrar el peso de estos factores e identificar objetivamente los factores de éxito críticos (CSFs) para la adopción de IOS por parte de pequeñas y medianas empresas (PYME).

ELECTRE

Según [51], el método: la eliminación y la elección traduciendo la realidad (ELECTRE) fue propuesto por Roy, [52]. La idea principal es establecer "relaciones superiores" entre dos alternativas según el responsable de la toma de decisiones. Se han desarrollado una serie de extensiones y variaciones. Los pasos de la metodología ELECTRE se definen de la siguiente forma: A continuación, se presenta un listado de artículos recientes del método ELECTRE:

[53] simula el comportamiento del consumidor que puede verse afectado por los criterios para realizar una compra en un sitio web de comercio electrónico simulado. [54] Selección del sistema de fabricación y acortar el tiempo de comercialización de los productos. En [55], provee alternativas para equipos de sensores antisubmarino en Helicópteros en Aviación naval indonesia. En [56] selecciona las reglas de asociación minera (procedimientos) con alta calidad que facilite a los usuarios elegir la mejor alternativa. En [57], resuelve el problema de seleccionar al mejor profesor de informática para una universidad. [58] Evalúa y clasifica las atracciones turísticas según sobre las ventajas y desventajas a través de la comparación pareada con los mismos criterios. En [59], elije la versión óptima de una turbina de viento requerido para equipar un parque eólico en el oeste de Rumanía. [60] Presenta la, planificación de escenarios y proponer una metodología integrada para construir, desarrollar y clasificar escenarios aplicado en un caso real (mercado de vivienda de Irán). [61] Examina la relación entre la eficiencia gerencial y la satisfacción del cliente de los hoteles boutique parisinos mediante el uso de métodos de análisis de decisiones con criterios múltiples (MCDA). [62] Selecciona del indicador de rendimiento (IPs) más adecuado bajo cada categoría para pequeñas y medianas empresas de servicios de agua (SMWU). [63] Selecciona un activo para una empresa en la industria metalúrgica que fabrica partes metálicas para diversas industrias. [64] Busca determinar la importancia relativa de la satisfacción del cliente en torno a seis dimensiones del servicio de calidad: confiabilidad, empatía, seguridad, tangibilidad, capacidad de respuesta y precio. En [65], el enfoque radica en la selección de proveedor, el método se puede usar en problemas del mundo real con datos mal definidos e incompletos.

PROMETHEE

De acuerdo con [66] se comparan de dos alternativas de expansión de red, transformador de distribución convencional y regulada por voltaje. En [67], la solución de complejas decisiones de selección de bienes raíces, debido a la complejidad de los mercados inmobiliarios, los productos de inversión y procesos de gestión. [68], optimización de los parámetros de decisión del filtro Gabor y proporcionar una referencia para el esquema de configuración de parámetros de decisión del filtro. [69] Identificación de la fibra de algodón más adecuada a partir de un conjunto de alternativas disponibles en presencia de diferentes propiedades físicas conflictivas. [70], Propone una metodología científica y práctica para los tomadores de decisiones para el servicio de transporte terrestre en la cadena de suministro. [71] Reconocimiento del componente crítico del compresor para mejorar la disponibilidad de la máquina en una industria manufacturera. [72] Diseñó un modelo para predecir el nivel del agua subterránea en Irán, con la ayuda del Bayesiano probabilístico de Redes, implicando parámetros sociales y económicos. En [73], se evalúa la eficacia de la implementación del gobierno electrónico, influenciada por el diálogo estratégico entre la India y la Unión Europea (UE), y clasifica a los sectores en alternativas. [74] Resuelve problemas de toma de decisiones de múltiples atributos en los que hay vacilación entre los expertos. [75] Aplica del método de organización de clasificación de preferencia para resolver problemas de toma de decisiones que encuentran datos de evaluación tanto objetivos como subjetivos.

Métodos Híbridos

De acuerdo con [76], se demuestra la aplicabilidad de los métodos TOPSIS y ELECTRE en los servicios de facturación y determinar cuál es el mejor desempeño de compañías de facturación en Estambul; En [77], la aplicación del modelado estructural interpretativo (ISM) integrado con técnicas de toma de decisiones multi-criterio ELECTRE-VIKOR para permitir la selección de proveedores de sustentabilidad. [78] Evalúa a los proveedores en ciclo de cadena de suministro; esta investigación proporciona una breve descripción de AHP y la implementación de los pasos utilizados en el método TOPSIS. En [79],

se evalúa la capacidad de los métodos y proporcionar resultados significativos para la selección de equipos, hibridación de MARE, AHP Y ELECTRE III. [7], El método CODAS, se usa para la evaluación del microclima en una oficina; seis criterios son determinados para este proceso de evaluación los cuales son: 1) la cantidad de aire por cabeza (en m³/h), la humedad relativa (en porcentaje), la temperatura del aire (en ° C), la iluminación durante las horas de trabajo (en lx), la tasa de aire flujo (en m / s) y punto de rocío (en ° C) y 14 alternativas de parámetros. [80]; aplicación de una herramienta de toma de decisiones para la evaluación del desempeño de las zonas ferroviarias de la India, hibridación de VIKOR-DEMATEL. [81]; Seleccionar el mejor diseño de concepto de un componente automóvil. El diseño seleccionado fue sometido a implementación en la organización del caso, métodos: DEMATEL, ANP y TOPSIS. [82]; ilustrar un nuevo enfoque para obtener esos pesos basados en juicios de expertos y luego selecciona el mejor material usando métodos MOORA-WASPAS basados en clasificación. [83]; selección de un socio adecuado para un desarrollo de producto (PD) efectivo, se propone un enfoque integrado de toma de decisiones multicriterio VIKOR-AHP para evaluar de manera efectiva a los socios de PD. [84]; por medio de un análisis Bayesiano, se evalúan riesgos de la salud ecológica y humana. Estandarización de los pesos de evidencia (WoE) y proveer perspectivas y metodológicas. [85]; aplicación de VIKOR - AHP para evaluar los resultados de rendimiento de los bancos en Turquía en función del nivel de servicio al cliente y la satisfacción dentro de un marco interdisciplinario [86]; Proporcionar un nuevo tipo de modelo de toma de decisiones en para las empresas de construcción involucradas en negocios internacionales. Es usado un método híbrido que combina AHP y PROMETHEE.

CONJUNTOS DIFUSOS

Conjunto difuso intusionista (IFS)

Según [2] el conjunto difuso intusionista (IFS), propuesto por [87], es una extensión de la teoría de conjuntos difusos [11] [88]. IFS se caracteriza por un grado de membresía y un grado de no pertenencia, y por lo tanto puede representar el carácter difuso de los datos de manera más completa y detallada. Por su parte [89], el conjunto difuso vacilante (HFS) es una nueva forma generalizada de conjunto difuso (FS) de [102], fue presentado por [90].

La motivación para introducir este tipo de conjunto es que a veces es difícil asignar el grado de pertenencia de un elemento a un conjunto y, en algunas circunstancias, esta dificultad es causada por una duda entre algunos valores diferentes ([91]). El HFS, cuyo grado de pertenencia está representado por un conjunto de valores posibles, puede representar este problema perfectamente. El HFS abre nuevas perspectivas para investigar sobre la toma de decisiones en entornos difusos. Por su parte [92] los conjuntos difusos se clasifican en la siguiente tabla:

Conjunto Pitagoreano Difuso (PFS)

De acuerdo con [93], el conjunto difuso Pitagoreano (PFS) fue propuesto por Yager para modelar los términos lingüísticos. En el contexto de los PFS el proceso de toma de decisiones, una alternativa con respecto a un criterio proporcionado por el que toma la decisión puede ser mayor que uno, pero la suma de sus cuadrados es no más de uno [94]. Las principales diferencias entre el conjunto difuso Pitagoreano y el conjunto difuso intuicionista es que la suma cuadrada del grado de membresía de PFS y el grado de no pertenencia de PFS no es más de uno, lo que puede considerarse como la generalización de IFS. El PFS libera la restricción del IFS y proporciona una mayor pérdida de expresión difusa [95]. A continuación, se presenta un listado de estudios con enfoque Pitagoreano:

[96] Por medio de conjuntos grises se analiza la cuota de mercado de dos empresas competidoras y las preferencias de los consumidores por ambos productos basados en diferentes tipos industriales. Por su parte [97]; los conjuntos grises se aplican para elegir algunas alternativas muy similares, en este caso para evaluar las disciplinas en una universidad. [98]; Seleccionar el proceso de fabricación aditiva (AM) para la micro fabricación utilizando el procedimiento integrado de jerarquía analítica difusa (AHP) en combinación con el orden de preferencia por similitud con la solución ideal (TOPSIS). [99]; proponer un método de ayuda a la decisión difusa y multi-criterio para el aislamiento térmico de edificios para clasificar las soluciones de aislamiento térmico. El método propuesto combina AHP difuso con el PROMETHEE difuso. [100], por medio de un TOPSIS difuso, se analizan las estrategias de disposición del producto en cadenas de suministro inversas y desarrollo de un marco para priorizar estas estrategias para la implementación efectiva de la cadena de suministro inverso. [101]; proponen un PFS Pythagorean Fuzzy Set para selección de

ubicación de una planta. [102]; aplicación de Dual Hesitant Pythagorean Fuzzy Hamacher Hybrid Geometric (DHPFHG) para la selección de proveedores en la gestión de la cadena de suministro con doble vacilación información difusa pitagórica que respalda un enfoque más flexible cuando la decisión los fabricantes proporcionan sus juicios. [103]; aplicación de Pythagorean Fuzzy Bonferroni para determinar la mejor aerolínea de Taiwán, fusionar la información difusa Pitagoreana, e introducir un enfoque novedoso para la toma de decisiones basado en los operadores propuestos. [104]; aplicación de TOPSIS Difuso para medir el impacto de cuatro criterios relacionados con la seguridad en la productividad laboral en la construcción: condiciones de trabajo inseguro, frecuencia de accidentes y lesiones personales, provisión de equipo de protección y estrictas normas de seguridad. [105]; aplicación de PFS Pythagorean Fuzzy Set para toma de decisiones grupales de múltiples criterios, tal como la evaluación de riesgos de la innovación tecnológica en empresas de alta tecnología. [89]; aplicación de HFS (Hesitant Fuzzy Set) para un problema de toma de decisiones multi-atributo representado en valores vacilantes en un ecosistema complejo que proporciona recursos ecológicos. [106]; examinar la aplicabilidad de VIKOR DIFUSO en la selección de las tecnologías adecuadas de prototipo rápido (RP) en un entorno ágil.

Materiales y métodos

Los artículos analizados fueron clasificados por método, autores, año y una breve descripción de su aplicación. Se utilizaron las palabras clave: Toma de decisiones multi-criterio MCDM, AHP, TOPSIS, MOORA, Conjuntos Difusos. Los artículos revisados corresponden a los años 2013 a 2018, y el periodo de la investigación fue de enero de 2018 a mayo de 2018. Las bases de datos consultadas, Emerald, Ebsco, Scopus y Google académico. La figura 1 muestra que en las bases de datos consultadas uno de los autores más citados es Zavadskas E. K.

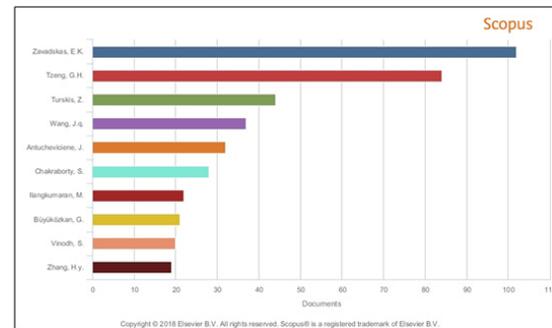


Figura 1. Autores citados

La figura 2 muestra que los países con mayor número de publicaciones son India e Irán con casi 500 publicaciones cada uno.

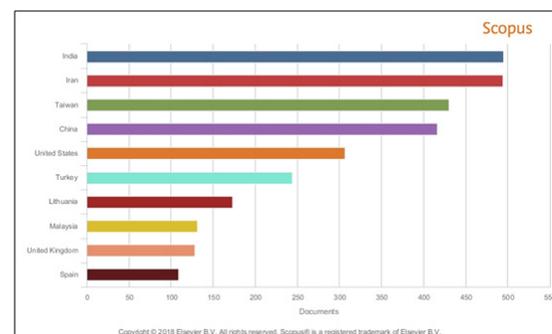


Figura 2. Publicaciones por país

La figura 3 muestra que el área de mayor aplicación de MCDM es ingeniería.

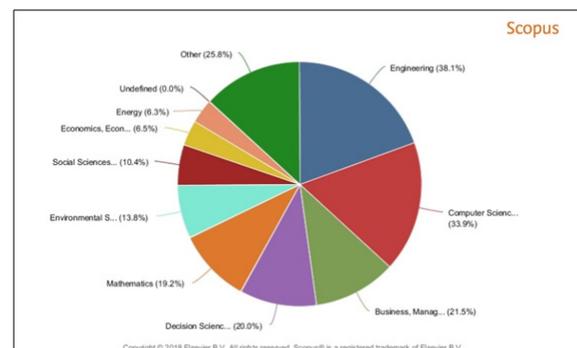


Figura 3. Publicaciones por áreas de aplicación.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo pueden usarse como referencia de investigación de la literatura. La Figura 4 muestra las metodologías MCDM mayormente reportadas donde se observa que los Conjuntos Difusos tienen mayor aplicación.

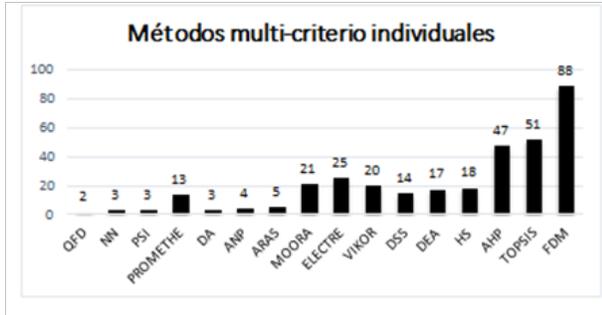


Figura 4. Publicaciones por método MCDM

La Figura 5 muestra las publicaciones por área de aplicación, donde se observa que el sector de mayor aplicación es la selección de proveedores:

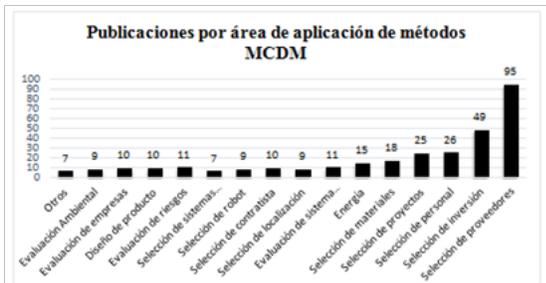


Figura 5. Publicaciones por área de aplicación de métodos MCDM

La Figura 6 Muestra las publicaciones de las metodologías híbridas y conjuntos difusos híbridos, ver anexo.

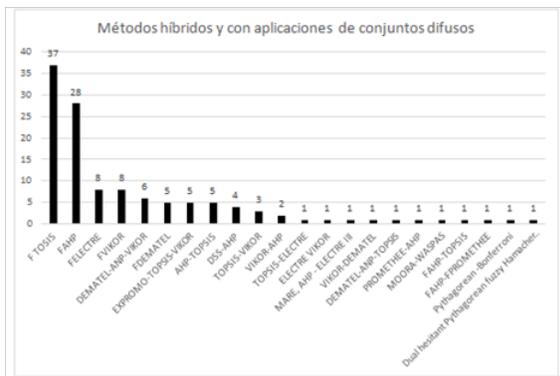


Figura 6. Publicaciones de métodos híbridos y con aplicaciones de conjuntos difusos

Referencias

[1] J. Liu, P. Liu, S.-F. Liu, X.-Z. Zhou and T. Zhang, "A study of decision process in MCDM problems with large number of criteria," *International Transactions in Operational Research*, vol. 22, no. 2, pp. 237-264, 2014.

[2] X. Peng, H. Yuan and Y. Yang, "Pythagorean Fuzzy Information Measures and Their Applications," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 32, no. 10, 2017.

[3] B. Agarski, I. Budak, B. Kosec and J. Hodolic, "An approach to multi-criteria environmental evaluation with multiple weight assignment," *Environmental modeling and assessment*, vol. 17, no. 3, pp. 255-266, 2012.

[4] A. Mardani, A. Jusoh, Z. Khalifah, N. Zakwan and A. Valipour, "Multiple criteria decision-making techniques and their applications - A review of the literature from 2000 to 2014," *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, vol. 25, no. 1, pp. 516-571, 2015.

[5] E. K. Zavadskas, Z. Turskis and S. Kildienė, "State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 20, pp. 165-179, 2014.

[6] D. Stanujkic, N. Magdalinovic, D. Milanovic, S. Magdalinovic and G. Popovic, "An Efficient and Simple Multiple Criteria Model for a Grinding Circuit Selection Based on MOORA Method," *Informatica*, vol. 25, no. 1, pp. 73-93, 2014.

[7] M. Keshavarz, E. Zavadskas, Z. Turskis and J. Antucheviciene, "A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making," *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, vol. 50, no. 3, pp. 25-44, 2016.

[8] D. Jato-Espino, E. Castillo-López, J. Rodríguez-Hernández and J. C. Canteras-Jordana, "A Review of Application of Multi-Criteria Decision Making Methods in Construction. Automation in Construction," *Automation in Construction*, vol. 45, pp. 151-162, 2014.

- [9] J. Mayor, S. Botero and J. D. González-Ruiz, "Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia Introducción," *Obras y proyectos*, vol. 20, pp. 56-74, 2016.
- [10] B. Roy and R. Slowinski, "Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method," *EURO Journal on Decision Processes*, vol. 1, no. 1/2, pp. 69-97, 2013.
- [11] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets. Information and Control," *Information and control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.
- [12] D. Stanujkic, E. Zavadskas, W. Brauers and D. Karabasevic, "An extension of the MULTIMOORA method for solving complex decision-making problems based on the use of interval-valued triangular fuzzy numbers," *Transformation in business administration*, vol. 14, pp. 355-375, 2015.
- [13] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*, New York: McGraw-Hill, 1980.
- [14] T. Bian, J. Hu and Y. Deng, "Identifying influential nodes in complex networks based on AHP," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 479, pp. 422-436, 2017.
- [15] T. L. Saaty, *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*, vol. 6, Rws, 2000.
- [16] V. Yadav and M. K. Sharma, "Multi-criteria supplier selection model using the analytic hierarchy process approach," *Journal of Modelling in Management*, vol. 11, no. 1, pp. 326-354, 2016.
- [17] S. Shihab, N. Z. Khan, P. Myla, S. Upadhyay, Z. A. Khan and A. N. Siddiquee, "Application of MOORA method for multi optimization of GMAW process parameters in stain-less steel cladding," *Management Science Letters*, vol. 8, no. 4, pp. 241-246, 2018.
- [18] Z. Ardakani, F. Bartolini and G. Brunori, "Food and Nutrition Security in Iran: Application of TOPSIS Technique," *New Medit*, vol. 16, no. 1, pp. 18-28, 2017.
- [19] M. Azizkhani, A. Vakili, Y. Noorollahi and F. Naseri, "Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 1198-1206, 2017.
- [20] A. Taibi and B. Atmani, "Combining Fuzzy AHP with GIS and Decision Rules for Industrial Site Selection," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 6, pp. 60-69, 2017.
- [21] L. Chybowski, M. Twardochleb and B. Wiśnicki, "Multi-criteria Decision making in Components Importance Analysis applied to a Complex Marine System. Odlučivanje na temelju multikriterijske analize značajnosti komponenti u kompleksnom pomorskom sustavu," *NAŠE MORE : znanstveni časopis za more i pomorstvo*, vol. 63, no. 4, pp. 264-271, 2016.
- [22] R. Pratap and H. P. Nachtnebel, "Analytical hierarchy process (AHP) application for reinforcement of hydropower strategy in Nepal," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 43-58, 2016.
- [23] J. Filipović, V. Bakić and B. Jovanović, "Prioritization of manufacturing sectors in Serbia for energy management improvement – AHP method," *Energy conversion and management*, vol. 98, pp. 225-235, 2015.
- [24] C. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications.*, New York: Springer-Verlag, 1981.
- [25] R. Dandage, S. S. Mantha and S. B. Rane, "Ranking the risk categories in international projects using the TOPSIS method," *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 11, no. 2, pp. 317-331, 2018.
- [26] A. M. Abdulshahed, I. A. Badi and M. M. Blaow, "A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem in a steelmaking company: A case study in Libya," *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 7, no. 3, pp. 385-396, 2017.

- [27] A. P. Balcerzak, "Digital economy in Czech Republic, Slovakia, Hungary. Measurement with TOPSIS based on entropy measure for objective weighting," *Institute of Economic Research*, pp. 1-11, 2017.
- [28] Z.-P. Fan, Y. Xi and Y. Li, "Supporting the purchase decisions of consumers: A comprehensive method for selecting desirable online products," *Kybernetes*, pp. 689-715, 2018.
- [29] D. Niu, Z. Song, M. Wang and X. Xiao, "Improved TOPSIS method for power distribution network investment decision-making based on benefit evaluation indicatorsystem," *International Journal of Energy Sector Management*, vol. 11, no. 4, pp. 595-608, 2017.
- [30] P. Rani, S. Baghla and H. Monga, "Energy Efficient Network Selection in Heterogeneous Network using TOPSIS," *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, vol. 5, no. 6, pp. 197-202, 2017.
- [31] A. Talukdar, H. Rahman and P. C. Sarker, "Multi criteria Decision Analysis Algorithm based Optimal Selection of PV Panel for Grid-tie PV Electricity Generation System in context of Dhaka, Bangladesh," *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronic, Instrumentation and Control Engineering*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [32] A. Balcerzak and P. Bernard, "Application of TOPSIS for analysis of sustainable development in European Union countries," in *The 10th International Days of Statistics and Economics. Conference Proceedings*, Praga, Septiembre 2016.
- [33] J. Baranauskienė, G. Mazure and V. Aleknevičienė, "Rural community public project valuation applying TOPSIS multicriteria method," in *Research for Rural Development. International Scientific Conference Proceedings*, Latvia, 2015.
- [34] A. K. Tripathi, S. Dubey, V. K. Pandey and S. K. Tiwari, "Selection of Refrigerant for Air Conditioning System Using MCDM-TOPSIS Approach," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 384-388, 201.
- [35] H. Majumder and A. Saha, "Application of MCDM based hybrid optimization tool during turning of ASTM A588," *Decision Science Letters*, vol. 7, no. 2, pp. 143-156, 2018.
- [36] W. . K. M. Brauers and E. K. Zavadskas, "Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization," *Informatica*, vol. 23, no. 1, pp. 1-25, 2012.
- [37] A. Masran, R. Hondro, M. Syahrizal, A. Putera and R. S. Raahim, "Student Admission Assessment using Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA)," *Journal Online Jaringan COT POLIPD (JOJAPS)*, vol. 10, pp. 2-6, 2017.
- [38] W.-f. Dai, Q.-y. Zhong and . C.-z. Qi, "Multistage Multiattribute Group Decision-Making Method Based on Triangular Fuzzy MULTIMOORA," *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.
- [39] J. Achebo and W. E. Odinikuku, "Optimization of Gas Metal Arc Welding Process Parameters Using Standard Deviation (SDV) and Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA).," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 298-308, 2015.
- [40] D. Karabasevic, D. Stanujkic, S. Urosevic and M. Maksimovic, "Selection of candidates in the mining industry based on the application of the SWARA and the MULTIMOORA methods," *cta Montanistica Slovaca*, vol. 20, no. 2, pp. 116-124, 2015.
- [41] E. K. Zavadskas, J. Antucheviciene, S. H. Razavi Hajiagha and S. S. & Hashemi, "The interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA method for group decision making in engineering," *Mathematical Problems in Engineering*, no. 2, 2015.
- [42] A. K. Sahu, N. K. Sahu and A. K. Sahu, "Appraisal of CNC machine tool by integrated MULTI-MOORA-IVGN circumferences: An empirical study," *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 4, no. 1, pp. 104-123, 2014.
- [43] A. K. Sahu, S. Datta and S. S. Mahapatra, "Supply chain performance benchmarking using grey-MOORA approach: An empirical research," *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 4, no. 1, pp. 24-55, 2014.

- [41] E. K. Zavadskas, J. Antucheviciene, S. H. Razavi Hajiagha and S. S. & Hashemi, "The interval-valued intuitionistic fuzzy MULTIMOORA method for group decision making in engineering," *Mathematical Problems in Engineering*, no. 2, 2015. [44]
- S. Datta, N. Sahu and S. Mahapatra, "Robot selection based on grey MULTIMOORA approach," *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 3, no. 2, pp. 201-232, 2013.
- [45] F. Zhou, X. Wang and A. Samvedi, "Quality improvement pilot program selection based on dynamic hybrid MCDM approach," *Industrial Management and Data Systems*, vol. 118, no. 1, pp. 144-163, 2018.
- [46] X. Wang and J. Cai, "A group decision-making model based on distance-based VIKOR with incomplete heterogeneous information and its application to emergency supplier selection," *Kybernetes*, vol. 46, no. 3, pp. 501-529, 2017.
- [47] W. Jiang, "Limited public resources allocation model based on social fairness using an extended VIKOR method," *Kybernetes*, vol. 45, no. 7, pp. 998-1012, 2016.
- [48] A. K. Sahu, S. Datta and S. S. Mahapatra, "Evaluation and selection of resilient suppliers in fuzzy environment: Exploration of fuzzy-VIKOR," *Benchmarking: An International Journal*, vol. 23, no. 3, pp. 651-673, 2016.
- [49] Q. LI and N. Zhao, "Stochastic interval-grey number VIKOR method based on prospect theory," *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 5, no. 1, pp. 105-116, 2015.
- [50] H.-P. Fu, T.-H. Chang, C.-Y. Ku and T.-S. Chang, "The critical success factors affecting the adoption of inter-organization systems by SMEs," *Journal of Business & Industrial Marketing*, vol. 29, no. 5, pp. 400-416, 2014.
- [51] Y. Peng, "Regional earthquake vulnerability assessment using a combination of MCDM methods," *Annals of Operations Research*, vol. 234, no. 1, pp. 95-110, 2015.
- [52] C. M. Tam, T. K. L. Tong and C. T. Lau, "ELECTRE_III in evaluating performance of construction plants: case study on concrete vibrators," *Construction Innovation*, vol. 3, no. 1, pp. 45-61, 2003.
- [53] V. W. Augustine and T. Lucas, "Decision support system of discount pricing analysis using method of elimination et choix traduisant la realite (ELECTRE)," *Computer Science*, vol. 19, no. 1, pp. 65-80, 2018.
- [54] E. M. Y. Elbishari, M. . H. F. Al Hazza, E. Y. T. Adesta and S. Rahman, "An integrated approach for facilities planning by ELECTRE method An integrated approach for facilities planning by ELECTRE method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018.
- [55] Ahmadi, S. H. Sumatri, O. S. Suharyo and A. K. Susilo, "Selection anti submarine sensor of helicopter using ELECTRE III method," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 12, pp. 1974-1981, 2017.
- [56] A. Dahbi, S. Jabri, Y. Balouki and T. Gadi, "A new method to select the interesting association rules with multiple criteria," *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, vol. 10, no. 5, pp. 191-200, 2017.
- [57] A. Mesran, G. Ginting, R. Rahim and S. Gienam, "Implementation of Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE) Method in Selecting the Best Lecturer (Case Study STMIK BUDI DARMA)," *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [58] S. Nawir, R. Manda, T. Rahman and A. U. Fatmah, "Implementation of ELECTRE Method in Determining the Priority of a Sustainable Tourist Attraction Development in Gorontalo Regency," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017.
- [59] I. A. Tișcă and C. D. Dumitrescu, "Choosing the optimal wind turbine variant using the "ELECTRE" method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017.
- [60] M. A. Shafia, M. R. Moghaddam and E. Teimoury, "Ranking Fuzzy Cognitive Map based scenarios using ELECTRE III: Applied on housing market. Expert Systems," *Expert Systems*, vol. 33, no. 5, pp. 417-431, 2016.

- [61] M. Zaman, L. Botti and T. V. Thanh, "Does managerial efficiency relate to customer satisfaction? The case of Parisian boutique hotels," *International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research*, vol. 10, no. 4, pp. 455-470, 2016.
- [62] H. Haider, R. Sadiq and S. Tesfamariam, "Selecting performance indicators for small and medium sized water utilities: Multi-criteria analysis using ELECTRE method," *Urban Water Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 305-3272, 2015.
- [63] A. Muñoz-Porcar, M. J. Alonso-Nuez, M. Flores-García and D. Duret-Solanas, "The renewal of assets using a tool to aid decision making," *Management Decision*, vol. 53, no. 7, pp. 1412-1429, 2015.
- [64] T. Barros Jerônimo and D. Medeiros , "Measuring quality service: The use of a SERVPERF scale as an input for ELECTRE TRI multicriteria model," *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 31, no. 6, pp. 652-664, 2014.
- [65] S. S. Hashemi, S. Hossein and . R. Hajiagha, "Decision Making with Unknown Data: Development of ELECTRE Method Based on Black Numbers," *Informatica*, vol. 25, no. 1, pp. 21-36, 2014.
- [66] T. Lühn, G. Schmidtman and J. Geldermann, "Identification of sustainable expansion alternatives for heterogeneous grid topologies," *International Journal of Energy Sector Management*, vol. 12, no. 1, pp. 44-66, 2018.
- [67] S. Metzner, "Transferring outranking models to real estate management: The assessment of potential investment markets using PROMETHEE," *Journal of Property Investment and Finance*, vol. 36, no. 2, pp. 135-157, 2018.
- [68] J. Zhou, Y. Wang and Z. Sun, "Gabor Filtering and Adaptive Optimization Neural Network for Iris Double Recognition," *Biometric Recognition*, vol. 10996, pp. 441-449, 2018.
- [69] S. Chakraborty and S. Bandhopadhyay , "Cotton fibre selection and grading – a PROMETHEE-GAIA-based approach," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 29, no. 5, pp. 646-660, 2017.
- [70] J. Trujillo Díaz and R. G. García Cáceres, "Sorting methodology to select carriers in a Colombian Green Coffee Supply Chain using PROMETHEE method," in *Proceeding of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Bogota, 2017*.
- [71] A. Khaira and R. K. Dwivedi, "Identification of critical component to enhance equipment availability in a graphite manufacturing industry," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, vol. 7, no. 3, pp. 25-32, 2017.
- [72] A. Roozbahani, E. Ebrahimi and M. E. Banihabib, "Ground water risk management using dynamic bayesian networks and PROMETHEE method," *European Water*, vol. 57, pp. 367-374, 2017.
- [73] V. Soni, R. Anand, P. K. Dey, A. P. Dash and D. K. Banwet, "Quantifying e-governance efficacy towards Indian–EU strategic dialogue," *Transforming Government: People, Process and Policy*, vol. 11, no. 4, pp. 535-571, 2017.
- [74] A. Mahmoudi, . S. Sadi-Nezhad, A. Makui and M. Vakili, "An extension on PROMETHEE based on the typical hesitant fuzzy sets to solve multi-attribute decision-making problem," *Kybernetes*, vol. 45, no. 8, pp. 1213-1231, 2016.
- [75] D. K. Sen, S. Datta and S. S. Mahapatra, "Extension of PROMETHEE for robot selection decision making: Simultaneous exploration of objective data and subjective (fuzzy) data," *Benchmarking: An International Journal*, vol. 23, no. 4, pp. 983-1014, 2016.
- [76] D. Alper and C. Basdar, "A Comparison of TOPSIS and ELECTRE Methods: An Application on the Factoring Industry," *Business and Economics Research Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 627-646, 2017.

- [77] J. Girubha, S. Vinodh and V. KEK, "Application of interpretative structural modelling integrated multi criteria decision making methods for sustainable supplier selection," *Journal of Modelling in Management*, vol. 11, no. 2, pp. 358-388, 2016.
- [78] S. Gurung and R. Phipon, "Multi-criteria decision making for supplier selection using AHP and TOPSIS method," *International Journal of Engineering Inventions*, vol. 6, no. 2, pp. 13-17, 2016.
- [79] R. E. Hodgett, "Comparison of multi-criteria decision-making methods for equipment selection," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 85, pp. 1145-1157, 2016.
- [80] R. Ranjan, P. Chatterjee and S. Chakraborty, "Performance evaluation of Indian Railway zones using DEMATEL and VIKOR methods," *Benchmarking: An International Journal*, vol. 23, no. 1, pp. 78-95, 2016.
- [81] S. Vinodh, T. S. Balagi and A. Patil, "A hybrid MCDM approach for agile concept selection using fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 83, no. 9/12, pp. 1979-1987, 2016.
- [82] M. Yazdani, E. K. Zavadskas, J. Ignatius and M. D. Abad, "Sensitivity analysis in MADM methods: Application of material selection," *Economics of Engineering Decision*, vol. 27, no. 4, pp. 382-391, 2016.
- [83] G. Büyüközkan and A. Görener, "Evaluation of product development partners using an integrated AHP-VIKOR model," *Kybernetes*, vol. 44, no. 2, pp. 220-237, 2015.
- [84] I. Linkov, O. Massey, J. Keisler, I. Rusyn and T. Hartung, "From "Weight of Evidence" to Quantitative Data Integration using Multicriteria Decision Analysis and Bayesian Methods," *ALTEX*, vol. 32, no. 1, 2015.
- [85] H. Dincer and U. Hacıoglu, "Performance evaluation with fuzzy VIKOR and AHP method based on customer satisfaction in Turkish banking sector," *Kybernetes*, vol. 42, no. 7, pp. 1072-1085, 2013.
- [86] H. Li, Z. Jin, V. Li, G. Liu and R. M. Skitmore, "An entry mode decision making model for the international expansion of construction enterprises," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 20, no. 2, pp. 160-180, 2013.
- [87] K. T. Atanassov, "Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Sets and Systems," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 87-96, 1986.
- [88] L. Miguel, H. Bustince, J. Fernández, A. Jurio and D. Paternain, "*El Problema del Orden en Conjuntos Atanassov Intuicionistas*," 2015.
- [89] H. Liao, Z. Xu and J. Xu, "An approach to hesitant fuzzy multi-stage multi-criterion decision making," *Kybernetes*, vol. 43, no. 9/10, pp. 1447-1468, 2014.
- [90] V. Torra, "Hesitant fuzzy sets," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 25, no. 6, pp. 529-539, 2010.
- [91] V. Torra and Y. Narukawa, "On hesitant fuzzy sets and decision," *The 18th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 1378-1382, 2009.
- [92] H. Bustince, E. Barrenechea, M. Pagola, J. Fernández, Z. Xu, B. Bedregal, J. Montero, H. Hagrais, F. Herrera and B. De Baets, "A historical account of types of fuzzy sets and their relationships," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 24, no. 1, pp. 179-194, 2016.
- [93] M. Li, Y. Yu and Y. Xu, "Knowledge checking service selection method in pythagorean fuzzy environment," *International Conference on Logistics Engineering, Management and Computer Science*, pp. 1438-1443, 2015.
- [94] R. R. Yager, "Pythagorean fuzzy subsets," *IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)*, pp. 57-61, 2013.
- [95] X. Zhang and Z. Xu, "Extension of TOPSIS to Multiple Criteria Decision Making with Pythagorean Fuzzy Sets," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 29, no. 12, pp. 1061-1078, 2014.

- [96] Y. Zhang, Y. Wang and Q. Liu, "The choice of industrial type Grey game research about customer preference , international competition and the choice of industrial type. Grey Systems," *Theory and Application*, vol. 8, no. 2, pp. 122-132, 2018.
- [97] L. Peng and W. Cuiping, "A new two-stage grey evaluation decision-making method for interval grey numbers," *Kybernetes*, vol. 47, no. 4, pp. 801-815, 2018.
- [98] M. B. Anand and S. Vinodh, "Application of fuzzy AHP – TOPSIS for ranking additive manufacturing processes for microfabrication," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 24, no. 2, pp. 424-435, 2018.
- [99] M. Seddiki, K. Anouche and A. Bennadji, "Integrated FAHP-FPROMETHEE for thermal insulation of masonry buildings," *Facilities*, vol. 35, no. 3-4, pp. 195-211, 2018.
- [100] R. K. Sighn and S. Agrawal, "Analyzing disposition strategies in reverse supply chains: fuzzy TOPSIS approach," *Management of Environmental Quality*, vol. 29, no. 3, pp. 427-443, 2018.
- [101] K. Rahman, M. Ullah, A. Fahmi and L. A. Zadeh, "Multiple Attribute Group Decision Making for Plant Location Selection with Pythagorean Fuzzy Weighted Geometric Aggregation Operator," *The Nucleus*, vol. 54, no. 1, pp. 66-74, 2017.
- [102] G. Wei and M. Lu, "Dual hesitant pythagorean fuzzy Hamacher aggregation operators in multiple attribute decision making," *Archives of Control Sciences*, vol. 27, no. 3, pp. 365-395, 2017.
- [103] R. Zhang, J. Wang, X. Zhu, M. Xia and M. Yu, "Some Generalized Pythagorean Fuzzy Bonferroni Mean Aggregation Operators with Their Application to Multiattribute Group Decision-Making. Complexity," *Complexity*, pp. 1-16, 2017.
- [104] A. R. Fayek and M. N. Omar, "A Fuzzy Topsis Method for Prioritized Aggregation in Multi-Criteria Decision Making Problems," *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 23, pp. 242-256, 2016.
- [105] W. Liang, X. Zhang and M. Liu, "The maximizing deviation method based on interval-valued pythagorean fuzzy weighted aggregating operator for multiple criteria group decision analysis," *Discrete Dynamics in Nature and Society*, p. , 2015.
- [106] S. Vinodh, S. Nagaraj and J. Girubha, "Application of Fuzzy VIKOR for selection of rapid prototyping technologies in an agile environment," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 20, no. 6, pp. 523-532, 2014.
- [107] I. Aschilean, G. Badea, G. S. Naghiu, I. Giurca and F. G. Iloaie, "Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in water distribution systems using the AHP method," *Energy Procedia*, vol. 112, pp. 19-26, 2017.
- [108] R. C. Gomes and M. R. Partidario, "Ecosystem services inclusive strategic environmental assessment," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 40, pp. 36-46, 2013.
- [109] Z. Hui-min, W. Hang-yu and S. Shi-ya, "Research on filter's parameter selection based on PROMETHEE method Research on filter's parameter selection based on PROMETHEE method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018.
- [110] R. Karim and C. L. Karmaker, "Machine Selection by AHP and TOPSIS Methods," *American Journal of Industrial Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 7-13, 2016.
- [111] A. Kobryń and J. Prystrom, "A Data Pre-Processing Model for the Topsis Method," *Folia Oeconomica Stetinensia*, vol. 16, no. 2, pp. 219-235, 2016.
- [112] R. Poveda, Artist, Propuesta de una Metodología de Ayuda a la Decisión para los Procesos de Dirección y Gestión de Proyectos. [Art]. Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
- [113] R. Swamy, P. Tiwari and A. Sawhney, "Assessing determinants of PPP project performance: Applying AHP to urban drinking water sector in India," *Property Management*, vol. 36, no. 1, pp. 67-85, 2018.