

01-020

TRENDS IN HYBRID TECHNIQUES IN DECISION MAKING: DEMATEL BASED ON THE ANALYTIC NETWORK PROCESS

Schulze-González, Erik-Alejandro (1); Pastor-Ferrando, Juan-Pascual (2); Aragonés-Beltrán, Pablo (2); Viñoles-Cebolla, Rosario (2)

(1) Universidad de Valparaíso, (2) Universitat Politècnica de València

The Analytical Network Process (ANP) technique is a well-known multi-criteria decision method that represents any decision-making problem as a network of criteria and alternatives, allowing the incorporation of feedback and interdependence relationships between them. However, one of the main questions is related to the complexity of the model when answering a large number of questions, which can also be complex to understand by the experts involved in the decision process, making it a complex model to be applied in practice. Recent studies show that the combined study of ANP with DEMATEL improves the practical application of ANP to decision-making problems from the point of view of decision-makers and experts. The aim of this paper is to present a detailed bibliometric analysis of the DEMATEL-based analytic network process (DANP) in order to systematically review the methodological variants in the various applications and how they contribute to the improvement of the original ANP method.

Keywords: DEMATEL; ANP; Multi-criteria decision analysis.

TENDENCIAS DE TÉCNICAS HÍBRIDAS EN LA TOMA DE DECISIONES: DEMATEL BASADO EN EL PROCESO ANALÍTICO DE REDES

La técnica Analytical Network Process (ANP) es un conocido método de decisión multicriterio que representa cualquier problema de toma de decisiones como una red de criterios y alternativas, permitiendo incorporar relaciones de retroalimentación e interdependencia entre ellos. Sin embargo, uno de los principales cuestionamientos tiene relación con la complejidad del modelo al momento de responder un gran número de preguntas, que además pueden resultar complejas de comprender por los expertos que participan en el proceso de decisión, convirtiéndose así, en un modelo complejo para ser aplicado en la práctica. Estudios recientes demuestran que el estudio combinado de ANP con DEMATEL mejoran la aplicación práctica de ANP a los problemas de tomas de decisiones desde el punto de vista de los decisores y expertos. El objetivo de este artículo es presentar un análisis bibliométrico detallado de la combinación híbrida DEMATEL basado en ANP (DANP) con el fin de revisar sistemáticamente las variantes metodológicas en las diversas aplicaciones y como éstas contribuyen a la mejora del método original de ANP.

Palabras clave: DEMATEL; ANP; Análisis Multicriterio de Decisiones.

Correspondencia: ersc3@doctor.upv.es



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La mayoría de los métodos de toma de decisiones con múltiples atributos (MADM) asumen que los criterios son independientes entre sí, lo que no es una suposición realista en muchos de los problemas del mundo real. En cambio, el Proceso Analítico en Red (ANP) considera que los elementos del problema de decisión, las alternativas y los criterios, pueden influir en las relaciones con cualquier otro elemento del modelo. Así, el modelo resultante es una red o grafo, ponderado y orientado, que permite una influencia o relación entre los elementos (Saaty, 2005, 2008). Sin embargo, una de las críticas del método ANP es su complejidad al momento de implementarse debido a la elaboración de extensos cuestionarios para identificar y ponderar las influencias entre elementos y clústeres. Además, a menudo hay preguntas que son complejas de entender para los responsables de la toma de decisiones (Schulze-González et al., 2021).

Estudios recientes, han demostrado que la técnica Decisión Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) en conjunto con ANP pueden superar los problemas de interacciones, interdependencias, retroalimentación y diferentes ponderaciones entre los criterios, como también disminuir la complejidad del modelo ANP. La hibridación de ambos métodos es denominada DEMATEL basado en ANP, o método DANP. El fundamento de este método híbrido es combinar ambas técnicas, donde DEMATEL puede modelar las relaciones de influencia directa entre varios factores, y ANP puede resolver los problemas relacionados con la interdependencia y retroalimentación (Tzeng, 2017).

En (Gölcük & Baykasoğlu, 2016) se realiza una descripción detallada de las hibridaciones entre DEMATEL y ANP. No obstante, en este artículo nos enfocaremos en la técnica DANP y en la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la tendencia de la investigación científica en los modelos híbridos de DANP?

La estructura del artículo es la siguiente: La sección 2 comprenderá el objetivo general. La sección 3 antecedentes teóricos generalizados de los métodos ANP y DEMATEL, profundizando en el método híbrido DANP. La sección 4 presenta un estudio bibliométrico basado en herramientas analíticas y mapas de escalamiento multidimensional. Por último, en la sección 5 se presentan las principales conclusiones.

2. Objetivo

El objetivo general de este trabajo es: Presentar un estudio bibliométrico detallado de la combinación híbrida DANP para definir tendencias recientes, la distribución de los artículos con respecto a las diferentes categorías y las interacciones con otros campos que pueden aportar más información a los investigadores que trabajan en este campo.

3. Antecedentes teóricos

En esta sección se presenta una visión generalizada de los métodos ANP y DEMATEL, para profundizar en la hibridación DANP en cuanto a su aspecto teórico y aplicaciones.

3.1 Método ANP

El método ANP fue definido en (Saaty, 1980), siendo posteriormente publicado en diversas referencias, como en (Saaty, 1994, 2001). Para el presente trabajo, basta con saber que el problema de toma de decisiones se aborda como una red de nodos o elementos que pueden ser alternativas y criterios de decisión, agrupados en clústeres. Un elemento de un clúster puede interactuar o tener influencia sobre algunos o todos los elementos del mismo clúster o de otros clústeres de la red. La red ANP analiza la intensidad de la "influencia" percibida de ciertos elementos (o clústeres) sobre otros elementos de la red (o clústeres), de modo que el resultado es la distribución de influencias entre todos los elementos de la red, es decir, en

qué medida un elemento tiene influencia sobre los demás elementos de la red (Aragónés-Beltrán et al., 2017). Para una explicación más detallada con su respectiva formulación matemática y pasos de ejecución, véase (Aragónés-Beltrán et al., 2014, 2017). Algunas aplicaciones recientes de ANP en el área temática de Dirección de Proyectos se encuentran en (Biagi et al., 2021; Erol et al., 2022; Ligardo-Herrera et al., 2019; Wan et al., 2021) y (Alcalá Casanova et al., 2021).

3.2 Método DEMATEL

El método DEMATEL, fue desarrollado en el Centro de Investigación del Instituto Conmemorativo Battelle de Ginebra para comprender y resolver problemas del mundo real, relacionados con la población y el hambre, como también cuestiones medioambientales y energía (Gölcük & Baykasoğlu, 2016). DEMATEL se utiliza para construir mapa de relaciones de redes de influencia (INRM) para explorar las interacciones entre dimensiones y criterios (Lin et al., 2020). Los pasos de DEMATEL según (Chen et al., 2019; Tzeng, 2017) son: El primer paso consiste en construir el sistema con n elementos/criterios y desarrollar la escala de evaluación utilizando aspectos/criterios por pares para realizar la comparación, así como una escala de números enteros que va de 0 a 4. El segundo paso calcula la matriz inicial para obtener directamente la matriz de influencia \mathbf{A} . El tercer paso normaliza la matriz \mathbf{Z} para que a continuación, en el cuarto paso se obtenga la matriz influencia total \mathbf{T} , para finalmente construir la INRM. Véase (Lin et al., 2020; Schulze-González et al., 2021) para una explicación más detallada con su respectiva formulación matemática.

3.3. Método DANP

Según lo indicado por (Yang et al., 2008) el método ANP asume que cada clúster tiene el mismo grado de influencia e ignora el hecho de que diferentes clústeres pueden estar asociados con diferentes grados de influencia. Es por eso, que propusieron el método DANP, que utiliza el análisis DEMATEL para confirmar los diferentes grados de influencia entre los clústeres, aplicando la matriz de relación total directamente en la supermatriz de ANP para establecer el INRM del modelo de decisión. Los pasos básicos de DANP son los siguientes (Gölcük & Baykasoğlu, 2016; Hsu et al., 2012; Lin et al., 2020; Wu & Tsai, 2018):

Paso 1: Desarrollar una supermatriz no ponderada. La matriz de influencia total se obtendrá a partir de DEMATEL. Cada columna se sumará para su normalización. Se denominará a la matriz de influencia total $\mathbf{T}_c = [t_{ij}]_{n \times n}$ obtenida por criterios y $\mathbf{T}_D = [t_{ij}^D]_{m \times m}$ obtenida por dimensiones (clúster) a partir de \mathbf{T}_c . A continuación, se normaliza la supermatriz \mathbf{T}_c por las dimensiones (clústeres) utilizando la matriz de influencia \mathbf{T}_D , obteniendo una nueva matriz \mathbf{T}_c^α como la que se muestra en la ecuación (2).

$$= \tag{1}$$

$$= \tag{2}$$

Donde $\sum_{j=1}^m m_j = n$, $m < n$, y T_c^{ij} es una matriz $m_i \times m_j$.

Donde se normaliza $T_c^{\alpha 11}$ mediante la ecuación (3), y repitiendo para obtener $T_c^{\alpha mn}$. Por ejemplo, $T_c^{\alpha 11}$ se normaliza dividiendo por la suma de todos los elementos que lo componen según la ecuación (3). Todo los demás siguen los mismos cálculos de normalización.

$$T_c^{\alpha 11} = \begin{bmatrix} t_{c11}^{11}/d_1^{11} & \dots & t_{c1j}^{11}/d_1^{11} & \dots & t_{c1m_1}^{11}/d_1^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{ci1}^{11}/d_i^{11} & \dots & t_{cij}^{11}/d_i^{11} & \dots & t_{cim_1}^{11}/d_i^{11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cm_11}^{11}/d_{m_1}^{11} & \dots & t_{cm_1j}^{11}/d_{m_1}^{11} & \dots & t_{cm_1m_1}^{11}/d_{m_1}^{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{c11}^{\alpha 11} & \dots & t_{c1j}^{\alpha 11} & \dots & t_{c1m_1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{ci1}^{\alpha 11} & \dots & t_{cij}^{\alpha 11} & \dots & t_{cim_1}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{cm_11}^{\alpha 11} & \dots & t_{cm_1j}^{\alpha 11} & \dots & t_{cm_1m_1}^{\alpha 11} \end{bmatrix} \tag{3}$$

La matriz de influencia total se normaliza en una supermatriz según la relación de dependencia en el clúster. Esto permite obtener la supermatriz no ponderada, como se muestra en la ecuación (4), que se basa en la transposición de la matriz de influencia normalizada T_c^α por dimensiones (clústeres), es decir, $W = (T_c^\alpha)'$.

$$W = (T_c^\alpha)' = \begin{matrix} & \begin{matrix} D_1 & & D_i & & D_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ \vdots \\ D_j \\ \vdots \\ D_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} c_{11} \dots c_{1m_1} & \dots & c_{i1} \dots c_{im_i} & \dots & c_{m1} \dots c_{mm_m} \\ W^{11} & \dots & W^{i1} & \dots & W^{m1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{j1}^1 \dots c_{jm_j}^1 & & W^{1j} & \dots & W^{ij} & \dots & W^{mj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{m1}^1 \dots c_{mm_m}^1 & & W^{1m} & \dots & W^{im} & \dots & W^{mm} \end{bmatrix} \end{matrix} \tag{4}$$

$n \times n | m < n, \sum_{j=1}^m m_j = n$

En este caso, las matrices W^{11} y W^{12} se obtiene mediante la ecuación (5). Si se muestra en blanco o es cero en la matriz, implica que los criterios son independientes, de la misma manera se obtiene la matriz W^{mm} .

$$W^{11} = (T^{11})' = \begin{matrix} & \begin{matrix} c_{11} & \dots & c_{1i} & \dots & c_{1m_1} \end{matrix} \\ \begin{matrix} c_{11} \\ \vdots \\ c_{1j} \\ \vdots \\ c_{1m_1} \end{matrix} & \begin{bmatrix} t_{c11}^{\alpha 11} & \dots & t_{ci1}^{\alpha 11} & \dots & t_{cm_11}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{c1j}^{\alpha 11} & \dots & t_{cij}^{\alpha 11} & \dots & t_{cm_1j}^{\alpha 11} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{c1m_1}^{\alpha 11} & \dots & t_{cim_1}^{\alpha 11} & \dots & t_{cm_1m_1}^{\alpha 11} \end{bmatrix} \end{matrix} \tag{5}$$

Paso 2: Para obtener la supermatriz ponderada, cada columna se normalizará como se

muestra en la ecuación (6)

(6)

Normalizada la matriz de influencia total T_D , se obtiene una nueva matriz T_D^α , como se muestra en la ecuación (7). Donde $t_D^{\alpha ij} = t_D^{ij} / d_i$.

$$T_D^\alpha = \begin{bmatrix} t_D^{11} / d_1 & \dots & t_D^{1j} / d_1 & \dots & t_D^{1m} / d_1 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1} / d_i & \dots & t_D^{ij} / d_i & \dots & t_D^{im} / d_i \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{m1} / d_m & \dots & t_D^{mj} / d_m & \dots & t_D^{mm} / d_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11} & \dots & t_D^{\alpha 1j} & \dots & t_D^{\alpha 1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha i1} & \dots & t_D^{\alpha ij} & \dots & t_D^{\alpha im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha m1} & \dots & t_D^{\alpha mj} & \dots & t_D^{\alpha mm} \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (7)$$

Entonces se multiplica la matriz de influencia total normalizada T_D^α con la supermatriz no ponderada para obtener la supermatriz no ponderada, como sigue:

$$W^\alpha = T_D^\alpha W = \begin{bmatrix} t_D^{\alpha 11} \times W^{11} & \dots & t_D^{\alpha i1} \times W^{i1} & \dots & t_D^{\alpha m1} \times W^{m1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha 1j} \times W^{1j} & \dots & t_D^{\alpha ij} \times W^{ij} & \dots & t_D^{\alpha mj} \times W^{mj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{\alpha 1m} \times W^{1m} & \dots & t_D^{\alpha im} \times W^{im} & \dots & t_D^{\alpha mm} \times W^{mm} \end{bmatrix}_{n \times n | m < n, \sum_{j=1}^m m_j = n} \quad (8)$$

Donde $t_D^{\alpha ij}$ es un escalar y $\sum_{j=1}^m m_j = n$.

Paso 3: Obtención de la supermatriz límite. Se obtiene elevando a sucesivas potencias k lo suficientemente grandes, hasta que la supermatriz converja y se convierta en una supermatriz estable a largo plazo para obtener los pesos influyentes de prioridad global, tal como se indica a continuación:

$$\lim_{z \rightarrow \infty} (W^\alpha)^z \quad (9)$$

donde Z denota un número cualquiera para la potencia.

4. Análisis Bibliométrico

La bibliometría se ha convertido en una herramienta esencial para evaluar y analizar la productividad científica y el impacto de los investigadores, como también la colaboración entre diversas instituciones y el incremento de I+D (Moral-Muñoz et al., 2020). Por lo tanto, el análisis bibliométrico como herramienta de investigación permite descubrir el estado del arte en un campo en específico mediante la utilización de análisis cuantitativo y estadísticas para describir patrones en las publicaciones dentro de parámetros definidos (Gölcük & Baykasoğlu, 2016).

En esta línea, realizamos una búsqueda detallada en las bases de datos de Scopus y Web of Science (WoS) con Science Citation Index Expanded (SCI-E) y Social Science Citation

Index (SSCI) para la identificación de artículos sobre aplicaciones de combinaciones híbridas DEMATEL basado en ANP (DANP). Para ello, se utilizaron las palabras claves “DANP”, “DEMATEL and ANP” y “DEMATEL – based ANP” mediante una búsqueda de artículos por título, resumen y palabras claves publicados entre los años 2008 y 2022. Se han descartado del proceso de análisis bibliométrico los documentos de conferencias, tesis de máster, disertaciones doctorales, libros de texto y artículos no publicados. Se identificaron 4359 documentos, sin embargo, después de una nueva consulta de búsqueda con nuevos operadores y códigos de campo, se normalizaron algunas áreas temáticas con respecto al número de citas (haber sido citadas al menos una vez), resultando 971 artículos. Los 971 artículos fueron revisados en profundidad para identificar si en su desarrollo utilizaban DANP como método aplicado, resultando 378 artículos.

Con el resultado obtenido, el análisis bibliométrico se estructura de la siguiente forma: Se utilizaron las herramientas de análisis proporcionada por las webs de Scopus y Web of Science para analizar y visualizar la productividad de publicaciones de investigadores, instituciones y países. Como también número de publicaciones anuales, por áreas de aplicación y por revistas científicas.

Se utilizo el software VOSviewer versión 1.6.18 para construir y visualizar mapas bibliométricos mediante una técnica de escalamiento multidimensional como es el mapeo basado en la utilización de similitudes por distancia. Para así, determinar clústeres y tendencias de investigación.

El número de publicaciones de literatura científica anuales sobre el tema de estudio muestra una tendencia creciente, aumentando en promedio desde el año 2017 hasta el 2021 en un 300%. Con 81 publicaciones el año 2021, se observa en la Figura 1 el pico más alto desde el primer artículo publicado el año 2008.

Figura 1: Publicaciones anuales de hibridaciones DANP.

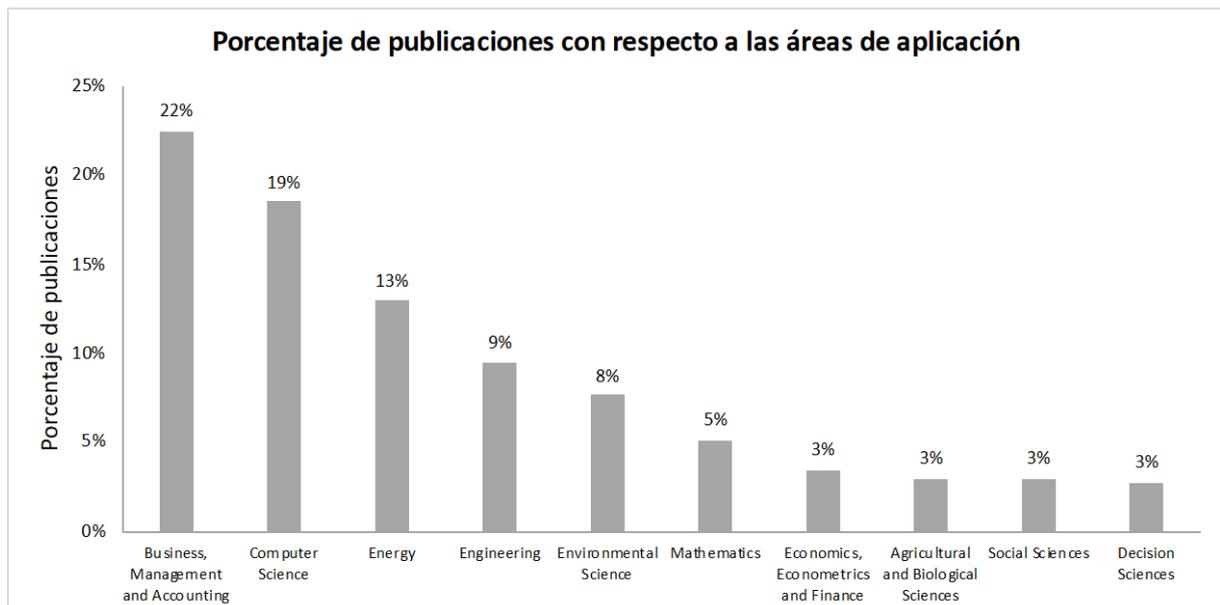
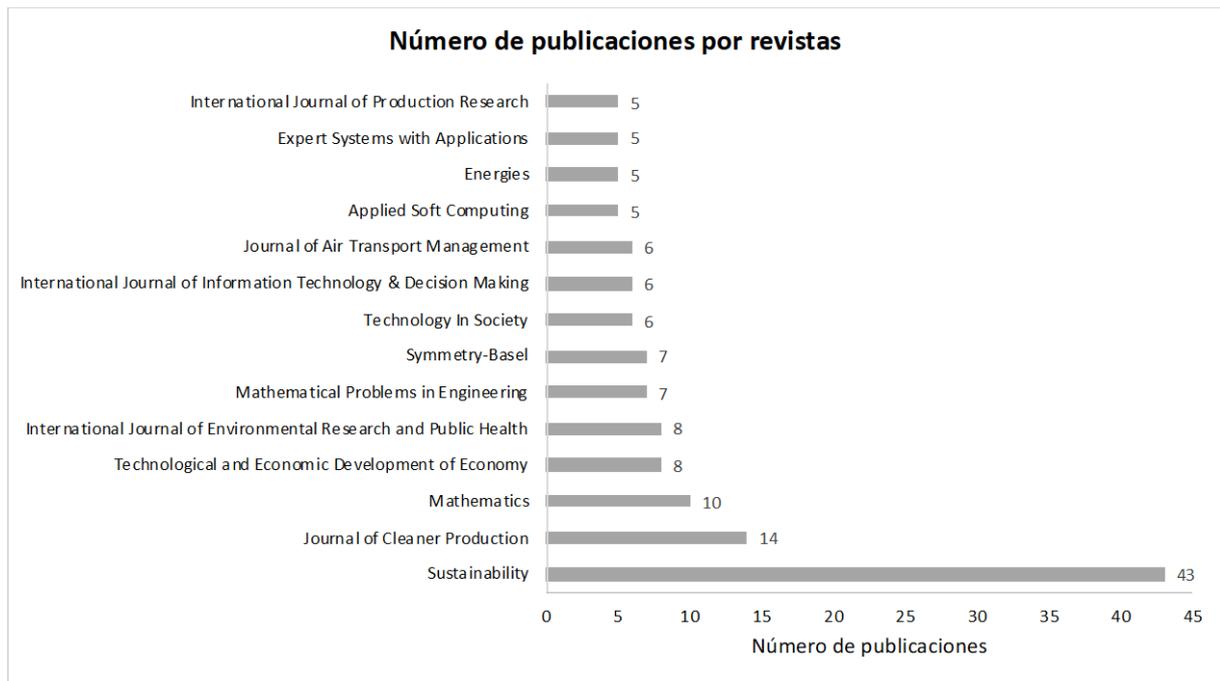


197 revistas científicas internacionales con indexación JCR han publicado el método híbrido DANP. Las revistas que poseen mayor productividad con respecto al tema de estudio son Sustainability (11%), Journal of Cleaner Production (4%), Mathematics (3%), Technological and Economic Development of Economy (2%), International Journal of Environmental Research and Public Health (2%), Mathematical Problems in Engineering (2%) y Symmetry-Basel (2%). El resto de las revistas científicas según el número de artículos publicados se muestra en la Figura 2. A su vez, la media del impacto de citación normalizado por categoría de los elementos citables publicados por las revistas (Figura 2) según el indicador Journal Citation Indicator (JCI) es de 1.19, observándose un 19% más de impacto de citas que la media en sus respectivas categorías, siendo en algunos casos por sobre el 100%.

Al analizar los artículos publicados de la técnica híbrida DANP, se observa que cubren una gran variedad de áreas temáticas. Business, Management and Accounting (22%) es el área de aplicación con el mayor número de publicaciones. Le siguen Computer Science (19%), Energy (13%), Engineering (9%), Environmental Science (8%), Mathematics (5%), entre otras (véase Figura 3). A su vez, áreas temáticas vinculadas con el área de la salud tienen escasa o nula producción de artículos de modelos híbridos DANP.

Figura 2: Número de publicaciones por revista científicas.

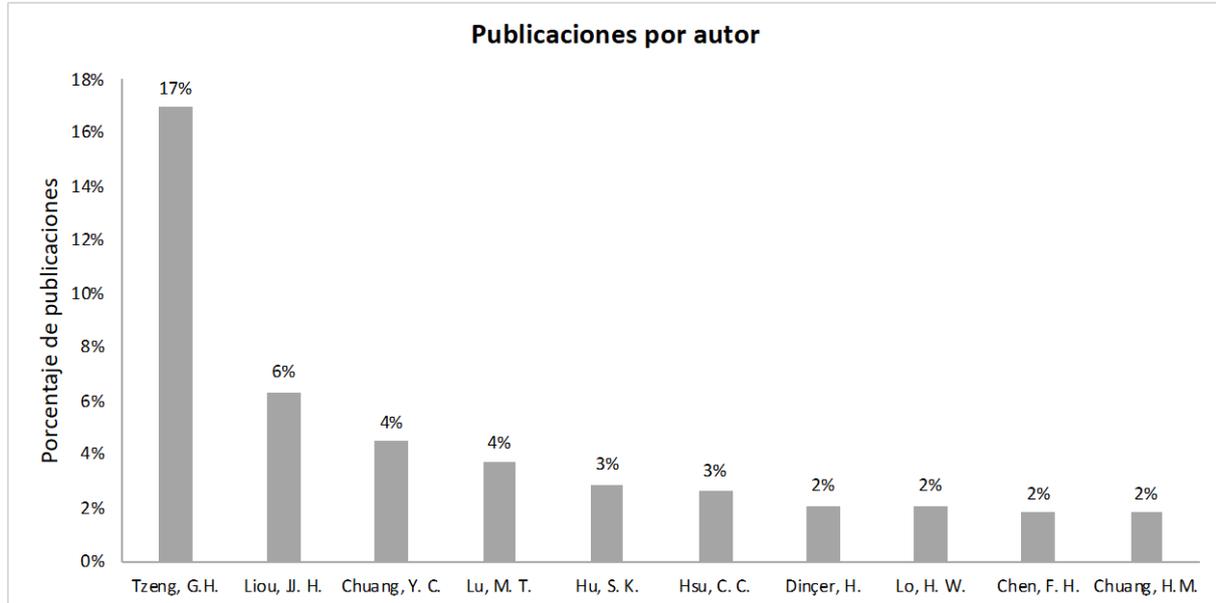
Figura 3: Porcentaje de publicaciones por áreas de aplicación.



En la Figura 4 se muestran los diez principales investigadores según el campo analizado. En total, hay 867 autores que han investigado y/o aplicado la técnica DANP. Tzeng, G. H., de la

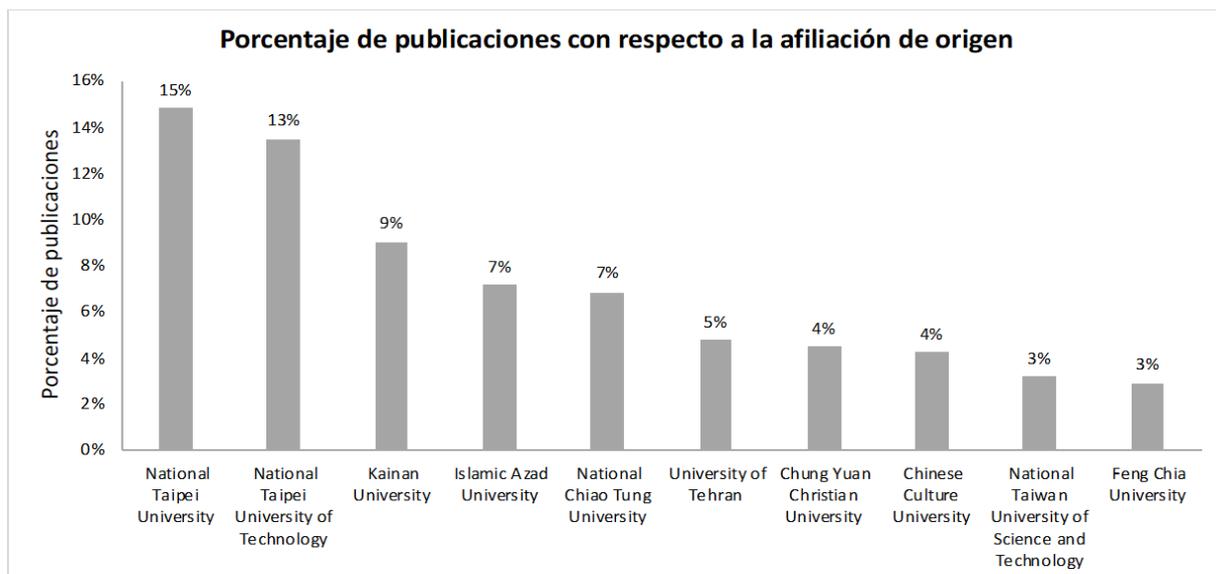
Universidad de Kainan, Taiwán, fue el investigador con mayor número de publicaciones (n = 64) con respecto al total de artículos indicado previamente, seguido por Liou (6%), Chuang (4%), Lu (4%) y Hu (3%). También se ha observado, que los investigadores más productivos en cuanto a la implementación de técnicas híbridas de DEMATEL con ANP provienen de Taiwán.

Figura 4: Autores más influyentes según números de publicaciones DANP.



395 organizaciones afiliadas por autores han investigado sobre el tema de estudio del presente artículo, siendo las principales diez las que se observan en la Figura 5. Las cinco principales afiliaciones son National Taipei University (15%), National Taipei University of Technology (13%), Kainan University (9%), Islamic Azad University (7%) y National Chiao Tung University (7%).

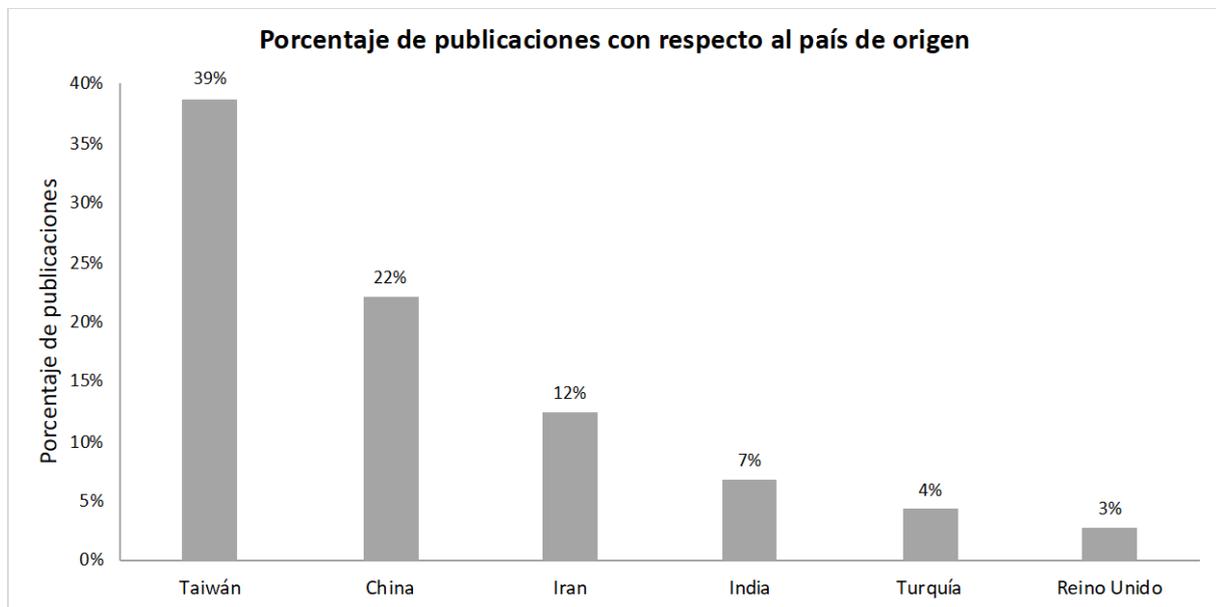
Figura 5: Principales afiliaciones con respecto al número de publicaciones.



Se identificaron 47 países de origen de los autores que han investigado con respecto a DANP, observándose que el 39% corresponde a Taiwán, tal como se indicó previamente que las filiales organizacionales más productivas son taiwanesas a excepción de Islamic Azad

University y University of Tehran que provienen de Irán. China, Irán e India son los países que le siguen en contribución científica a Taiwán con un 22%, 12% y 7%, respectivamente.

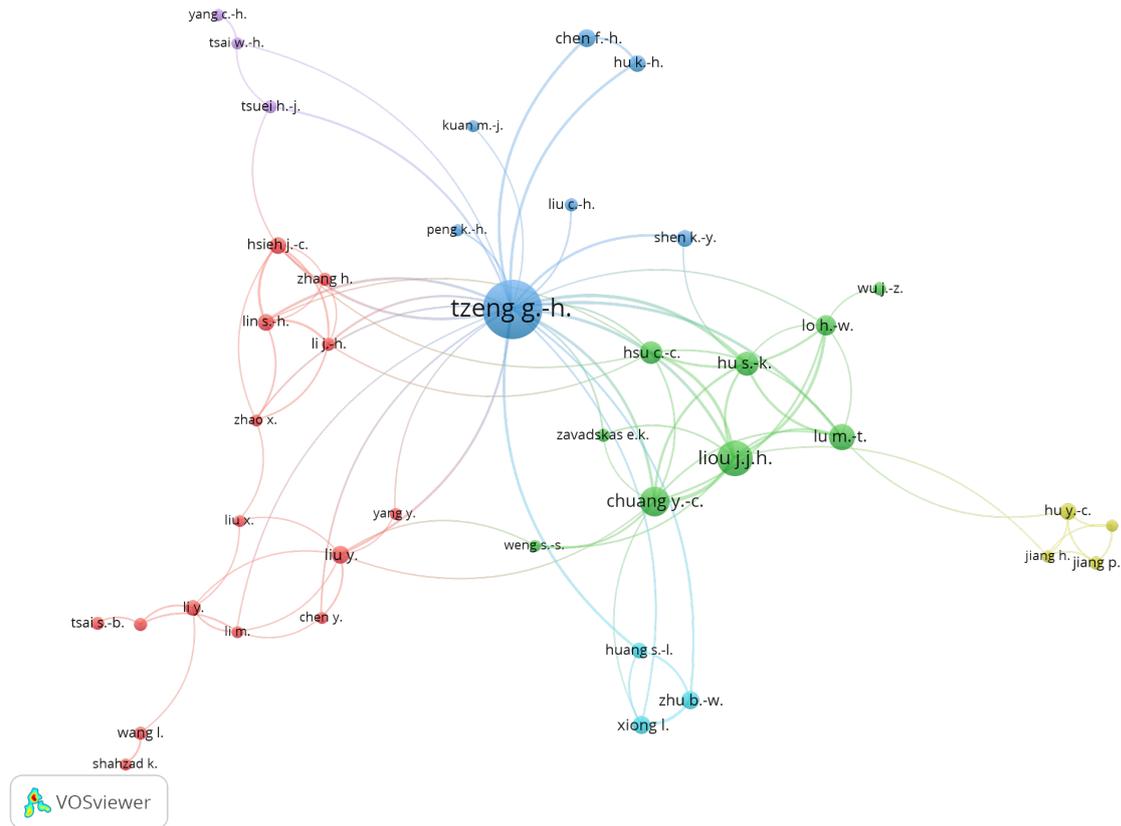
Figura 6: País de origen de los autores de artículos DANP.



Así como se indicó al inicio de este capítulo, se construyeron mapas basados en matrices de co-ocurrencia. La construcción de estos mapas consta tres pasos según lo indicado por (van Eck & Waltman, 2010). El primer paso, calcula una matriz de similitud basada en la matriz de co-ocurrencia. El segundo paso, construye un mapa aplicando la técnica de mapeo de visualización de similitudes. Y finalmente, en el tercer paso, el mapa de traduce, rota y refleja.

El primer mapeo de temas de investigación identifica todos los vínculos entre palabras claves asociados a la técnica híbrida DANP. Este mapa se construyó considerando la matriz de 378 artículos, con un número mínimo de cinco ocurrencias o apariciones de una palabra clave. Como consecuencia, se identificaron 2513 palabras claves, de las cuales 145 cumplieron los requisitos. Al resultado obtenido se calculó su fuerza total de los vínculos de co-ocurrencia con otras palabras claves, seleccionándose la con mayor fuerza de enlace total. Como se puede ver en la Figura 7, el mapa tiene una estructura circular. Algunos sectores del mapa están relativamente vacíos, ya que los campos entre los que no existen fuertes relaciones están claramente separados entre sí.

A su vez, los colores que se observan indican el clúster al que se asignó una palabra clave mediante la técnica de agrupación definida. En este caso, existen seis clústeres o bien grupos temáticos de investigación bien definidos en función de las palabras claves de investigación. En términos generales, la interpretación del mapa es bastante directa. Primero se observa que las palabras claves ANP, DEMATEL, DANP y VIKOR, son las más importantes en el mapa debido a la fuerza total de los enlaces de co-ocurrencia con otras palabras claves por artículos, dejando de manifiesto la utilización de estas técnicas. A su vez, en la parte derecha del mapa, se representa el primer clúster (rojo) que corresponde a las ciencias medioambientales y desarrollo sustentable, con énfasis en la innovación y la responsabilidad social corporativa. El segundo clúster (verde) se relaciona principalmente con la gestión de la cadena de suministro vinculando la calidad del servicio y la satisfacción del cliente. El siguiente clúster (azul) corresponde a la gestión de riesgo, big data y análisis empresarial con una alta relación a modelos fuzzy. El clúster 4 (amarillo) se compone principalmente de planificación estratégica y marketing. En el caso del clúster 5 (púrpura) a sistemas productivos y logísticos, específicamente de localización. Finalmente, el clúster 6 (celeste) considera modelos teóricos de estrategias de mejora y evaluación de rendimiento.



5. Conclusiones

En este trabajo se realizó un análisis y revisión detallada del método DEMATEL basado en ANP (DANP) mediante artículos de aplicación de la técnica. Revisados los 378 artículos de la aplicación de la técnica DANP, se puede concluir que la totalidad de las publicaciones destacan los fundamentos matemáticos de ANP, sin embargo, concuerdan también en sus dificultades, específicamente en la identificación de interdependencias y en la complejidad al momento de implementarse debido a la elaboración de extensos cuestionarios. Por esta razón, el método DEMATEL se utiliza para construir el mapa de relaciones de redes de influencia para explorar las interacciones entre dimensiones y criterios.

De igual forma, se ha demostrado un alto interés en la investigación híbrida DANP, cuya capacidad productiva en promedio desde el año 2017 es de 72 artículos por año. Asimismo, la mayoría de las afiliaciones que publican provienen de Taiwán, China e Irán, coincidiendo, además, con las nacionalidades de los autores.

Se identifican seis clústeres o bien grupos temáticos de investigación, siendo los dos principales debido a su co-ocurrencia y fuerza de cohesión de similitudes por distancia: ciencias medioambientales, desarrollo sustentable y gestión de la cadena de suministro. También se han detectado tres clústeres por países de colaboración científica asociado a la afiliación a la cual pertenecen los autores, siendo el que posee mayor cantidad de países el compuesto por Canadá, India, Lituania, Serbia, España, Turquía y Vietnam.

Otro de los aspectos a destacar, es que un 15% de los artículos analizados no solo están utilizando DANP para resolución de problemas de decisión, sino que también incorporan VIKOR o su versión modificada para reducir las brechas entre los criterios interdependientes para mejorar el resultado de la decisión. Esta nueva hibridación entre DANP y VIKOR se ha extendido entre los investigadores taiwaneses.

Como desarrollo futuro, utilizando la base de datos obtenida de los artículos de aplicación

DANP en este artículo, se puede profundizar en como las investigaciones de desarrollo sustentable han impacto en problemas de toma de decisión similares, en cuanto a su efectividad y eficiencia de la solución.

Referencias

- Alcalá Casanova, C., Carrión Baz, J., Barkatz, D., & Aragonés Beltrán, P. (2021). Selection of a supplier for the manufacture of a luminaire using ANP. *International Congress on Project Management and Engineering*.
- Aragonés-Beltrán, P., Chaparro-González, F., Pastor-Ferrando, J.-P., & Pla-Rubio, A. (2014). An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-based multi-criteria decision approach for the selection of solar-thermal power plant investment projects. *Energy*, 66, 222–238. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.016>
- Aragonés-Beltrán, P., Poveda-Bautista, R., & Jiménez-Sáez, F. (2017). An in-depth analysis of a TTO's objectives alignment within the university strategy: An ANP-based approach. *Journal of Engineering and Technology Management*, 44, 19–43. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2017.03.002>
- Biagi, V., della Croce Rossa, P., Massimo Bollati FSTechnology, I., Giulio Di Gravio, I., Bollati, M., & di Gravio, G. (2021). Decision Making and Project Selection: An Innovative MCDM Methodology for a Technology Company. *ACM International Conference Proceeding Series*, 39–44. <https://doi.org/10.1145/3447432.3447440>
- Chen, V. Y. C., Lin, J. C. L., & Tzeng, G. H. (2019). Assessment and improvement of wetlands environmental protection plans for achieving sustainable development. *Environmental Research*, 169, 280–296. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.015>
- Erol, H., Dikmen, I., Atasoy, G., & Birgonul, M. T. (2022). An analytic network process model for risk quantification of mega construction projects. *Expert Systems with Applications*, 191, 116215. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116215>
- Gölcük, İ., & Baykasoğlu, A. (2016). An analysis of DEMATEL approaches for criteria interaction handling within ANP. *Expert Systems with Applications*, 46, 346–366. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.041>
- Hsu, C. H., Wang, F. K., & Tzeng, G. H. (2012). The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 95–111. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.02.009>
- Ligardo-Herrera, I., Gómez-Navarro, T., & Gonzalez-Urango, H. (2019). Application of the ANP to the prioritization of project stakeholders in the context of responsible research and innovation. *Central European Journal of Operations Research*, 27(3), 679–701. <https://doi.org/10.1007/s10100-018-0573-4>
- Lin, S.-H., Liu, K.-M., Hsieh, J.-C., Hu, C.-L., Huang, X., & Tzeng, G.-H. (2020). A new hybrid modified MADM model for the potential evaluation of a comprehensive land consolidation project (LCP) toward achieving sustainable development. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(9), 1585–1615. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1673152>
- Moral-Muñoz, J. A., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A., & Cobo, M. J. (2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *El Profesional de La Información*, 29(1), 1699–2407. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill.
- Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the Analytic Hierarchy Process* (First Edit). RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2001). *The Analytic Network Process. Decision Making with Interdependence and Feedback*. (Second Edi). RWS Publications.

- Saaty, T. L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks* (RWS Publications, Ed.; 3rd ed.).
- Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *Revista de La Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Serie A. Matematicas*, 102(2), 251–318. <https://doi.org/10.1007/BF03191825>
- Schulze-González, E., Pastor-Ferrando, J.-P., & Aragonés-Beltrán, P. (2021). Testing a Recent DEMATEL-Based Proposal to Simplify the Use of ANP. *Mathematics*, 9(14), 1605. <https://doi.org/10.3390/math9141605>
- Tzeng, G.-H. (2017). DEMATEL Technique for Forming INRM and DANP Weights. In *New Concepts and Trends of Hybrid Multiple Criteria Decision Making* (pp. 49–60). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315166650-4>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Wan, J., Ling, C., & Liu, M. (2021). Research on success factors of internet product project management with grounded theory. *International Journal of Information Systems and Change Management*, 12(3), 259. <https://doi.org/10.1504/IJISCM.2021.120330>
- Wu, C. H., & Tsai, S. B. (2018). Using DEMATEL-Based ANP model to measure the successful factors of E-Commerce. *Intelligent Systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, 1122–1138. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5643-5.ch047>
- Yang, Y.-P. O., Shieh, H.-M., Leu, J.-D., & Tzeng, G.-H. (2008). A Novel Hybrid MCDM Model Combined with DEMATEL and ANP with Applications. *International Journal of Operations Research*, 5(3), 160–168. http://www.orstw.org.tw/ijor/vol5no3/paper-3-IJOR-vol5_3_-Yu-Ping_Ou_Yang.pdf

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

